

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program B2341 – Strojírenství

Materiály a technologie
zaměřením tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

**Vliv povrchové úpravy nástroje na jeho životnost při výrobě šroubů
s označením KX 1691 ve spol. Kamax s.r.o.**

**Influence of surface modification of instrument to his service life in
the production of screws marked as KX 1691 at Kamax s.r.o.**

Pavel Horáček
KSP – TP – B

Vedoucí diplomové práce: Ing. Pavel Doubek, Ph.D.
Konzultant diplomové práce: Ing. Václav Šantin (Kamax s.r.o.)

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 51

Počet tabulek: 7

Počet příloh: 14

Počet obrázků: 38

Datum: 21. 5. 2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení **Pavel H O R Á Č E K**

Studijní program **B2341 Strojírenství**

Studijní obor **3911R018 Materiály a technologie**

Zaměření **Tváření kovů a plastů**

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářské práce na téma:

**Vliv povrchové úpravy nástroje na jeho životnost při výrobě šroubů s označením
KX 1691 ve spol. Kamax s. r. o.**

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Seznámení se s problematikou výroby šroubů s označením KX 1691 ve společnosti Kamax s. r. o., Turnov, (technologický postup, materiály atd.).
2. Analýza životnosti používaných nástrojů při současné výrobě a vyhodnocení jednotlivých technologických vlivů výroby na životnost nástrojů.
3. Experimentální určení vlivu povrchové úpravy nástroje na jeho životnost při výrobě šroubů s označením KX 1691.
4. Vyhodnocení naměřených výsledků.
5. Závěr.





Forma zpracování bakalářské práce:

- průvodní zpráva: v rozsahu cca 30 stran
- přílohy: grafy, tabulky

Seznam literatury (uved'te doporučenou odbornou literaturu):

- [1] BŘEZINA, R. *Úvod do tváření II* [online], Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2002 ISBN 80-248-0068-3.
- [2] BRJUCHANOV, A.N. *Zápustkové kování Konstrukce a výpočet nástrojů. Díl 2 Kování na klikových lisech a vodorovných ko.* Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1956.
- [3] DAVIS, J.R. et al. *ASM Metals Handbook, Vol. 14: Forming and Forging.* 9. vyd. [s.l.]: ASM International, 1988 978 s. ISBN 0871700204.
- [4] PETRUŽELKA, J. *Úvod do tváření I.* Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2001 ISBN 80-7078-877-1.
- [5] Materiálové listy a technická firemní dokumentace.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Doubek, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: Ing. Václav Šantin, Kamax s. r. o., Turnov

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
vedoucí katedry



doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.
děkan

V Liberci dne 17. 2. 2012

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data. (v uvedené lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ). Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.



ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: B2341 – Strojírenství

Student: Pavel Horáček

Téma práce: Vliv povrchové úpravy nástroje na jeho životnost při výrobě šroubů s označením KX 1691 ve spol. Kamax s.r.o.
Influence of surface modification of instrument to his service life in the production of screws marked as KX 1691 at Kamax s.r.o.

Číslo BP: KSP – TP – B

Vedoucí BP: Ing. Pavel Doubek, Ph.D.

Konzultant: Ing. Václav Šantin (Kamax s.r.o.)

Abstrakt:

Bakalářská práce se zabývá vlivem různých druhů povlaků povrchu na raznici typu 31 Ta 38.103-20, její mechanické vlastnosti, životnost a cenu. Také vyhodnocuje složení použitých povlaků a morfologii povrchů těchto povlaků. Pro stanovení těchto vlastností bylo využito zkoušek mikrotvrdomosti, měření na elektronovém a laserovém mikroskopu a sledování výroby šroubů. Výsledkem experimentální části bylo zhodnocení povlaků pro jejich využití při výrobě ve společnosti KAMAX s.r.o.

Abstract:

This thesis deals with influence of different types of surface coatings on type die 31 Ta 38.103-20, its mechanical attributes, service life and cost. Also evaluates composition of used coatings and surface morphology of these coatings. For determination of this attributes was used microhardness test, test on electron and laser microscope and screw production monitoring. Result of experimental part was evaluation of coatings for their usefulness in production of company KAMAX s.r.o.

Místopřísežné prohlášení

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 21. května 2012

.....
Pavel Horáček
U Masokombinátu 840
293 06 Kosmonosy

PODĚKOVÁNÍ

Nejprve bych chtěl poděkovat všem, kteří mi pomáhali v tvorbě této bakalářské práce. Jmenovitě bych chtěl poděkovat panu Ing. Pavlu Doubkovi, Ph.D. za jeho odbornou pomoc, trpělivé vedení a množství cenných připomínek. Dále děkuji panu Ing. Václavu Šantinovi, který mi vždy ochotně zodpověděl otázky ohledně výrobního procesu a provedl mě firmou KAMAX s.r.o.

V neposlední řadě patří poděkování mé rodině a přátelům za podporu během studia.

OBSAH:

1. ÚVOD.....	9
2. TEORETICKÁ ČÁST	10
2.1 TVÁŘENÍ KOVŮ	10
2.1.1 Tváření za studena	10
2.1.2 Plastická deformace kovů.....	12
2.1.3 Stříhání	13
2.1.3.1 Průběh napjatosti při stříhání.....	13
2.1.3.2 Objemové stříhání	14
2.1.4 Technologie protlačování	14
2.1.4.1 Princip protlačování.....	15
2.1.4.2 Vliv tření	16
2.1.4.3 Dopředné protlačování	16
2.1.4.4 Zpětné protlačování	17
2.1.4.5 Vodorovné kovací stroje k protlačování.....	17
2.1.4.6 Nástroje pro protlačování.....	18
2.1.4.7 Výhody a zvláštnosti protlačování.....	19
2.1.5 Technologie válcování	19
2.1.5.1 Válcování závitů	20
2.2 POVRCHOVÉ INŽENÝRSTVÍ	21
2.2.1 Opotřebení	21
2.2.2 Povrchové úpravy	22
2.2.3 Organické povlaky.....	23
2.2.4 Nekovové anorganické povlaky	24
2.2.4.1 Konverzní vrstvy	24
2.2.4.1.1 Fosfátování.....	24
2.2.4.2 Keramické vrstvy (Smalty)	25
2.2.5 Kovové anorganické povlaky	25
2.2.5.1 CVD.....	27
2.2.5.2 PECVD.....	28
2.2.5.3 PVD.....	28
2.2.6 Volba vhodného materiálu povlaku	29
2.2.6.1 Povlak TiN.....	29



2.2.6.2 Povlak TiCN	30
2.2.6.3 Povlak TiAlN	31
2.2.6.4 Povlak CrAlN.....	31
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	32
3.1 SPOLEČNOST KAMAX s.r.o.	32
3.1.1 KAMAX s.r.o.....	32
3.1.2 Výrobky firmy KAMAX s.r.o. Turnov	33
3.1.3 Výrobní postup s použitím raznice typu 31Ta38.103/20.....	33
3.2 MATERIÁL ŠROUBU M10x1,5.....	34
3.3 PROVÁDĚNÉ EXPERIMENTY	35
3.3.1 Měření na elektronovém mikroskopu	35
3.3.2 Měření mikrotvrdosti	38
3.3.2.1 Zhodnocení výsledků tvrdosti.....	39
3.3.3 Měření na laserovém mikroskopu	40
3.3.3.1 Vyhodnocení nasnímaných povrchů	43
3.3.4 Stanovení doby životnosti	43
3.3.4.1 Optická kontrola raznic.....	44
3.3.5 Ekonomické zhodnocení povlaků	46
3.3.5.1 Vyhodnocení ekonomického zhodnocení.....	47
4. ZÁVĚR.....	48
POUŽITÁ LITERATURA	49
SEZNAM PŘÍLOH	51

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

HRC	[–]	Zkouška tvrdosti dle Rockwella
HV	[–]	Zkouška tvrdosti dle Vickerse
VKS		Vodorovné kovací stroje
f	[–]	Koeficient tření
α_0	[°]	Úhel záběru
PVD		Physical vapour deposition
CVD		Chemical vapour deposition
PECVD		Plasma enhanced chemical vapour deposition
R_e	[MPa]	Mez kluzu
R_m	[MPa]	Mez pevnosti
τ_m	[MPa]	Mez pevnosti ve smyku
Z	[%]	Kontrakce
A	[%]	Tažnost
CHTZ		Chemicko-tepelné zpracování
HSS		Rychlořezné oceli
SK		Slinutý karbid
TiN		Nitrid titanu
TiCN		Karbonitrid titanu
TiAlN		Nitrid titanu a hliníku
CrAlN		Nitrid chromu a hliníku
F0	[N]	Předzatížení vzorku
F	[N]	Celkové zatížení vzorku

1. ÚVOD

Pro stavbu většiny strojů a strojních zařízení je potřeba spojovací prvek, za základní spojovací elementy lze považovat šrouby. Šroub společně s maticí tvoří tzv. šroubový spoj, dostatečně pevné a přesto stále rozebíratelné spojení.

V současnosti, vzhledem k požadavku vysoké produktivity, klasický způsob výroby šroubu, tedy třískovým obráběním, nevyhovuje. Namísto toho, se používá k výrobě vysoce produktivní metoda tváření. Při této metodě neodebíráme žádnou třísku, k vytvoření celého šroubu dojde pouze plastickými deformacemi.

Samotný tvářecí proces je provázen změnami struktury materiálu, ovlivněním jeho mechanických vlastností a případně i změnami fyzikálních vlastností. Díky tomu je potřeba, při zpracování postupu výroby, počítat i se změnou potřebných sil pro vyvolání plastické deformace, nebo přiřadit další operace pro zlepšení tvárnosti, např. ohřev či chlazení.

Ve firmě KAMAX s.r.o. Turnov, se pro zvýšení produktivity výroby rozhodli vyzkoušet nové typy povlaků na raznicích. Jaké jsou vlastnosti nových raznic? Která z raznic je vzhledem k poměru trvanlivost / cena výhodná? A vyplatí se navrhovaný povlak s ohledem na stávající typ povlaku? Jedny z mnoha otázek, které vyvstaly a které si položili technologové firmy. Otázky, které daly vzniknout této bakalářské práci.

Hlavním cílem této bakalářské práce bude zhodnocení, která raznice je nejvíce výhodná vzhledem ke svým vlastnostem, trvanlivosti a také z hlediska ekonomičnosti výroby ve firmě KAMAX s.r.o.

2. TEORETICKÁ ČÁST

Výroba šroubů, vzhledem k požadované produktivitě, se provádí na tvářecích strojích. Pro samotnou výrobu je tedy potřeba mít znalosti z oboru tváření kovů. Výrobce ale potřebuje kromě vysoké produkce zajistit také vysokou jakost výrobku, tu spolu s životností tvářecího nástroje ovlivňuje použitá povrchová úprava raznice, její morfologie. Teoretická část se zabývá popisem těchto vlivů na výrobu.

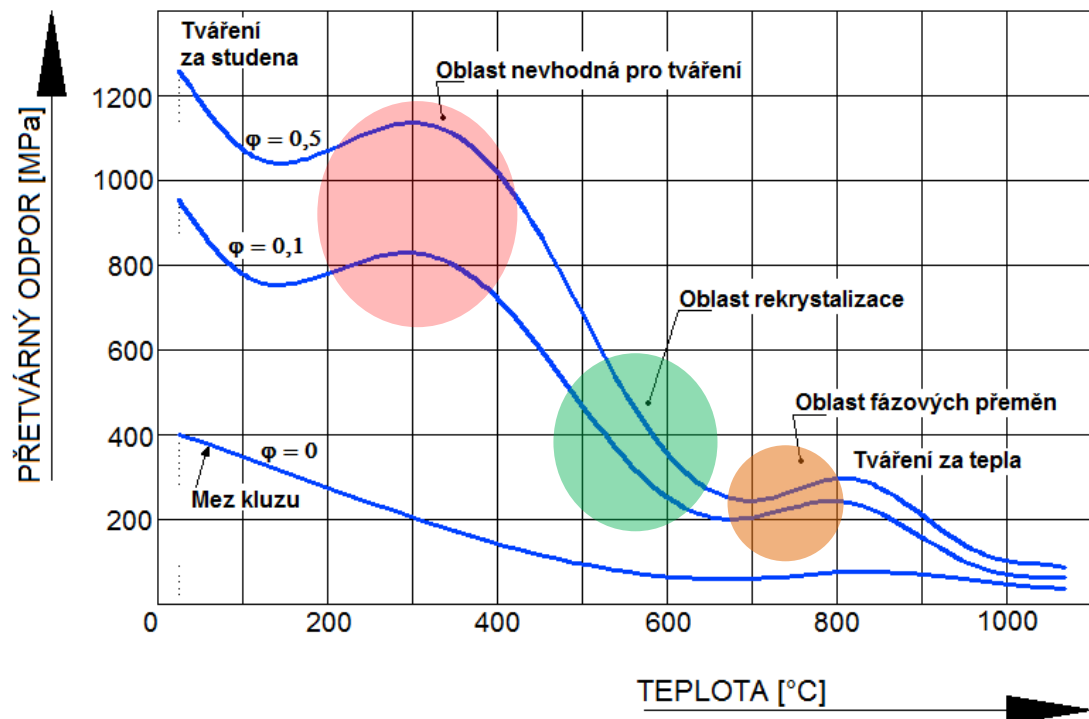
2.1 TVÁŘENÍ KOVŮ

Tvářením kovů rozumíme technologický (výrobní) proces, při kterém dochází k požadované změně tvaru výrobku nebo polotovaru, příp. vlastností, v důsledku působení vnějších sil bez odběru třísek. Podstatou tváření je vznik plastických deformací, ke kterým dojde v okamžiku dosažení napětí na mez kluzu pro daný materiál. Tento děj je provázen fyzikálními změnami a změnami struktury materiálu, což ovlivňuje mechanické vlastnosti materiálu.[1]

Výhodami tváření jsou vysoká produktivita práce, vysoké využití materiálu a velmi dobrá rozměrová přesnost tvářených výrobků. Nevýhodou je vysoká cena strojů a nástrojů a omezení rozměry konečného výrobku.[1]

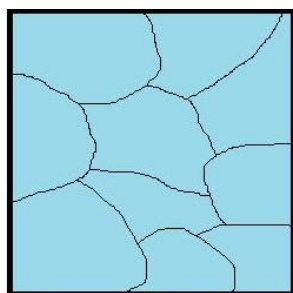
2.1.1 Tváření za studena

Tváření za studena je tváření pod rekrytalizační teplotou, kdy teplota tváření je pod hodnotou 30 % teploty tání tvářeného materiálu (obr. 1). Při této teplotě dochází při tváření ke zpevňování materiálu a k nárůstu odporu proti dalšímu tváření (nakonec dojde k vyčerpání plastičnosti materiálu). Během procesu se zrna deformují ve směru tváření (obr. 2), vytváří se textura a dochází k anizotropii mechanických vlastností. Zpevněním se zvyšují mechanické hodnoty (mez pevnosti a mez kluzu) a klesá tažnost. Zahřátím kovu je možné obnovit deformační schopnost, kov získává opět schopnost být plasticky tvářen.[1]



Obr. 1: Rozdělení tvářecích procesů podle teploty [1]

Výhodou tváření za studena je vysoká přesnost rozměrů, kvalitní povrch (nenastává okujení) a zlepšování vlastností zpevněním. Nevýhodou je nutnost používat velké tvářecí síly, nerovnoměrné zpevňování a omezená tvárnost materiálu.[1]



Zrna před tvářením



Zrna po tváření (textura)

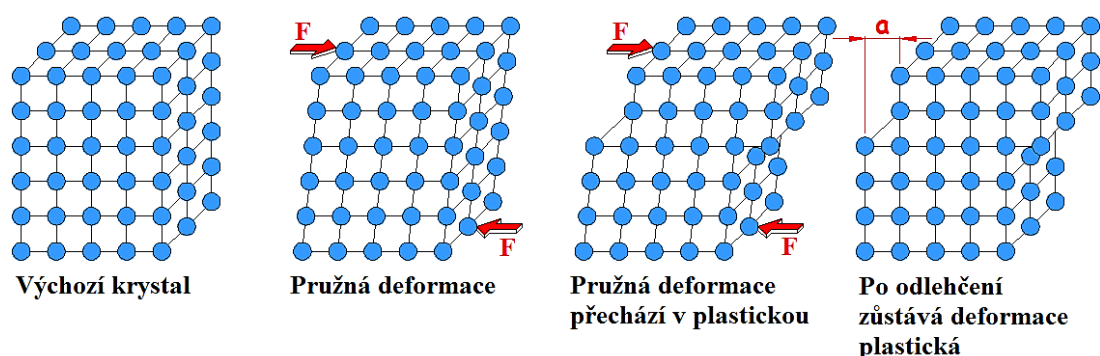
Obr. 2: Změna tvaru zrn v důsledku tváření [1]

Část energie, vynaložené na tváření, se mění na teplo a množství tohoto tepla závisí na rychlosti deformace a odporu materiálu proti deformaci. Podle toho, kam se odvede vzniklé teplo, se tvářecí procesy dělí na:

- *Izotermické tváření* – veškeré vyvinuté teplo je odvedeno do okolí a teplota tvářeného kovu se nemění. Deformace je dostatečně pomalá.
- *Adiabatické tváření* – veškeré teplo zůstane v materiálu a dojde ke zvýšení teploty kovu. Deformace je extrémně vysoká.
- *Polytropické tváření* – část tepla se odvede do okolí a část tepla zůstane v tvářeném materiálu, to je nejčastější případ.[1]

2.1.2 Plastická deformace kovů

Deformací se nazývá změna tvaru mřížky, která se navenek projevuje změnou tvaru bez vzniku trhlin. Podle fyzikální povahy je možné deformaci rozdělit na pružnou deformaci, kdy se materiál bude vracet do původního tvaru, pokud přestane působit síla, která způsobila pružnou deformaci a na plastickou deformaci, kdy změna tvaru zůstává zachovaná i po odstranění příčiny deformace, pokud napětí vzroste nad mez kluzu (obr. 3). Z hlediska tváření kovů má největší význam plastická deformace, i když vliv elastické deformace má vliv na konečný tvar výrobku. Při vzniku trhlin a následné destrukci tělesa mluvíme o porušení.[1]



Obr. 3: Schéma pružné a plastické deformace [1]

Velikost deformace závisí na teplotě, rychlosti zatěžování, napjatosti, chemickém složení, zpevnění a tření, atd. Tyto všechny vlivy se navenek projevují odporem kovu ke změně tvaru – deformačním odporem.[1]

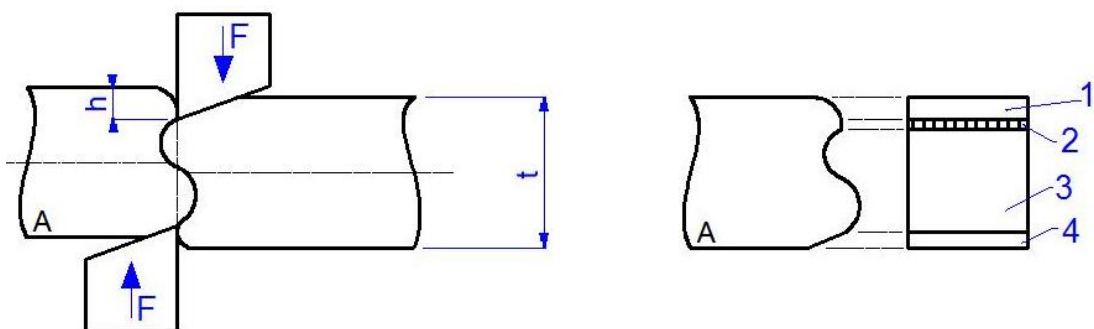
2.1.3 Stříhání

Stříhání je nejrozšířenější operací tváření. Používá se jak na přípravu polotovarů (stříhání tabulí, svitků plechů, stříhání profilů, vývalků, apod.), tak i na vystřihování součástek z plechu, buď pro konečné použití, nebo pro výrobky na další technologie (ohýbání, protlačování, tažení, atd.), také se používá na dokončovací nebo pomocné operace.[1]

2.1.3.1 Průběh napjatosti při stříhání

Průběh oddělování materiálu při stříhání lze rozdělit na tři oblasti (obr. 4):

- Pružnou oblast – která končí dosažením meze kluzu R_e . Tato fáze zaujímá asi 5÷8% tloušťky stříhaného materiálu. Vznikem silových dvojic v rovinách kolmých ke střížným plochám se materiál mezi střížníkem a střížnicí ohýbá a při tom se stříhaný materiál deformuje, na straně střížníku vzniká vydutí, na straně tažnice vytlačení materiálu.
- Oblast plastické deformace, při které se zvyšuje napětí nad mez kluzu a vzniká plastická deformace. Hloubka vniku nože se pohybuje od 10 do 25% tloušťky plechu. Na konci této fáze dosahuje napětí meze pevnosti ve smyku τ_m , a v místě styku střížných hran s materiálem začínají vytvářet trhliny.
- Porušení, kdy po překročení τ_m se vzniklé trhliny šíří od styku střížných hran s materiálem a po jejich spojení se materiál úplně oddělí.[2]

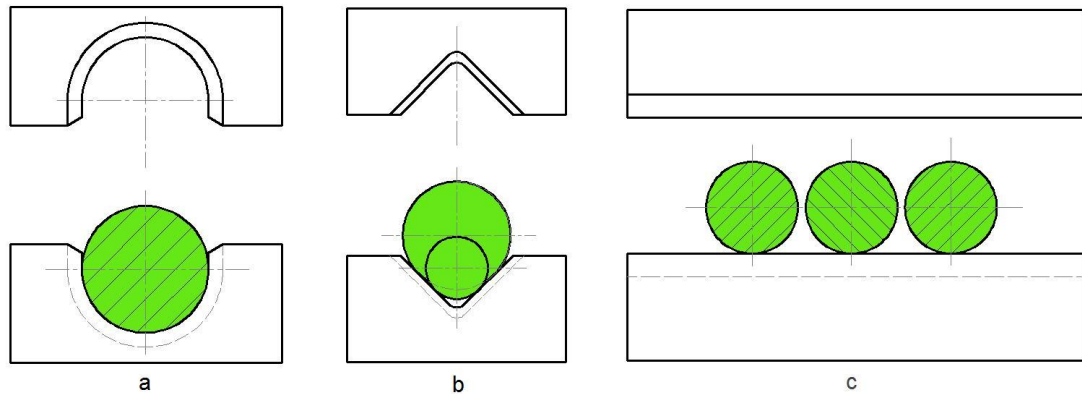


Obr. 4: Deformační pásma při stříhání [1]

(1 – pásmo zaoblení (elastická deformace), 2 – pásmo utržení,
3 – pásmo smyku (plastické deformace), 4 – pásmo odtláčení)

2.1.3.2 Objemové stříhání

Objemové stříhání za studena se používá pro stříhání tyčí a profilů různých průřezů. Jednoduché typy střížných nástrojů jsou uvedeny na Obr. 5. Stříhání uzavřenými noži je vhodné pro materiály, které mají malé tolerance rozměrů.[2]



Obr. 5: Nože na čtvercový a kruhový materiál [1]
(a – kruhový průřez, b – kruhový průřez s rozdílným průměrem,
c – kruhový průřez s povolenou deformací profilu)

Při stříhání jakéhokoliv profilového materiálu platí zásada, aby přestřihovaná tloušťka v každém okamžiku byla téměř stále stejná. Této zásadě se potom přizpůsobuje obrys pohyblivého nože.[1]

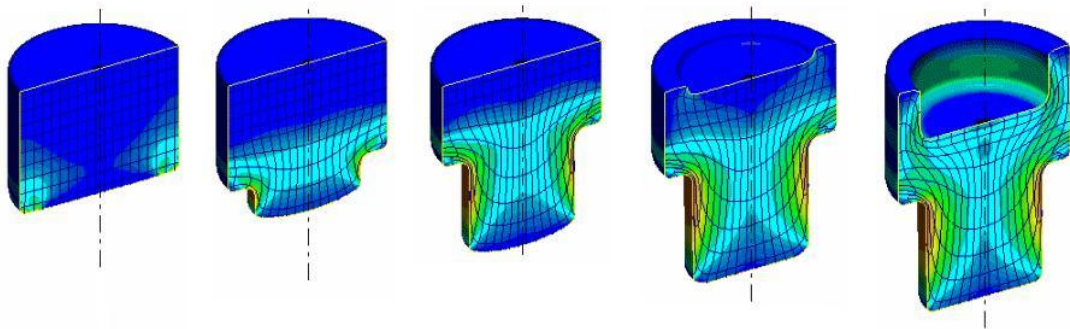
2.1.4 Technologie protlačování

Protlačování je technologie, kterou můžeme provádět za tepla, za poloohřevu a za studena. Napjatost v přetvářeném elementu materiálu je trojosá, všestranné tlaková. Tvářený materiál se přemísťuje a jeho směr pohybu je určen konstrukcí nástroje – protlačovadla. Výrobek se nazývá protlaček. Protlačování dělíme podle směru pohybu materiálu a nástroje na dopředné, zpětné, kombinované, stranové a radiální.[1]

Tuto technologii je možno dělit do dvou skupin. První se týká výroby finálních výrobků, druhá výroby polotovarů (trubek, tyčí, profilů, apod.). Protlačování za studena je u lehkých a barevných kovů známo již přes 100 let. Tímto způsobem se vyráběly a vyrábějí např. tuby, nábojnice, apod. [1]

2.1.4.1 Princip protlačování

Principem protlačování je deformace materiálu v důsledku působících sil do předem stanoveného směru s konečnými výhodnými mechanickými a rozměrovými vlastnostmi konečného výrobku (obr. 6). Protlačování je jedním z procesů, které přispěly k výraznému snížení vlastních nákladů ve výrobě, tedy i k racionalizaci výroby. Přesnost protlačků je obvykle velmi vysoká ($\pm 0,05$ mm), takže není nutno před montáží protlačky rozměrově upravovat. Využití materiálu je také vysoké, 90 až 100 %. [1]



Obr. 6: Kombinované protlačování [3]

Jakost a výchozí stav materiálu má výrazný vliv na technologii a proces protlačování. Vzhledem k velikosti přetvárných odporů jsou pro protlačování vhodné materiály s tažností větší, než 10 % a kontrakcí větší, než 50 % (oceli s obsahem uhlíku do 0,2 % C). Nevhodné jsou materiály, u kterých je nutno vynaložit specifický tvářecí tlak větší jak 2500 MPa a nebo nelze během jedné operace v důsledku chemického složení (tedy zpevnění) získat deformaci alespoň 25 %. Materiály s nízkou přetvárnou pevností, hliník a jeho slitiny, se dají protlačovat na jednu operaci. Oceli a ostatní kovy se protlačují na více operací. Někdy je potřeba provádět i mezioperační žhání (nejdříve rekrystalizační a potom na měkko). [1]

2.1.4.2 Vliv tření

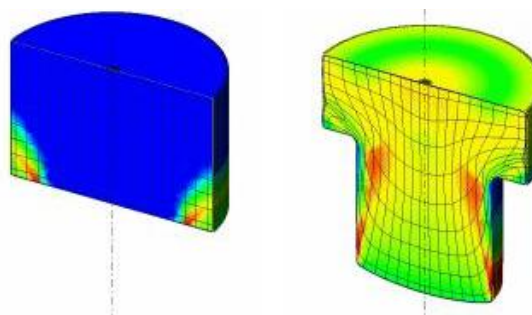
Jedním z rozhodujících faktorů na proces protlačování je tření, které výrazně ovlivňuje vlastní proces, kvalitu výrobku a ekonomii výroby, a to zejména u ocelí – musí se provádět vhodná povrchová úprava, jinak dochází k suchému tření a zadření nástroje. Povrchová úprava se skládá:

- Odstranění povrchových vad (otryskávání, broušení, moření u Al, ...).
- Z chemického a mechanického čištění (omývání, sušení, ...).
- Z fosfátování (viz. 2.2.4.1.1).
- Z nanesení vrstvy maziva. [1]

Velikost třecích sil dále závisí na drsnosti povrchu průtlačníku a průtlačnice a na jejich opotřebení v kritických místech. Někdy se jako mazivo u hutnického protlačování za tepla používá sklo vhodného chemického složení, které se při protlačování roztaví (nutnost odstranit sklovitou kůru). U neželezných kovů se používá tzv. košilka, tj. mezera mezi průtlačníkem a průtlačnicí o velikosti 2 až 4 mm, kam zateče materiál, který působí jako mazivo.[1]

2.1.4.3 Dopředné protlačování

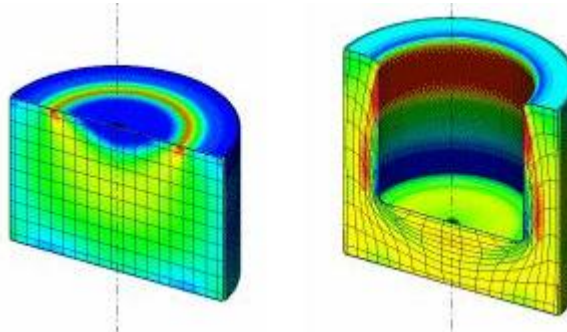
Při dopředném protlačování se materiál pohybuje ve stejném směru jako průtlačník. Výchozím polotovarem bývá kalota, získaná např. lisováním plechu nebo upichováním z tyčí. Používá se při tváření čepů, šroubů, pouzder, apod., tedy výrobků, u kterých není konstantní průřez (obr. 7).[1]



Obr. 7: Dopředné protlačování [4]

2.1.4.4 Zpětné protlačování

Při zpětném protlačování se pohybuje materiál v opačném směru a používá se k výrobě dutých protlačků i se žebry, kdy tloušťka stěny je v porovnání s průměrem velmi malá anebo naopak (obr. 8).[1]

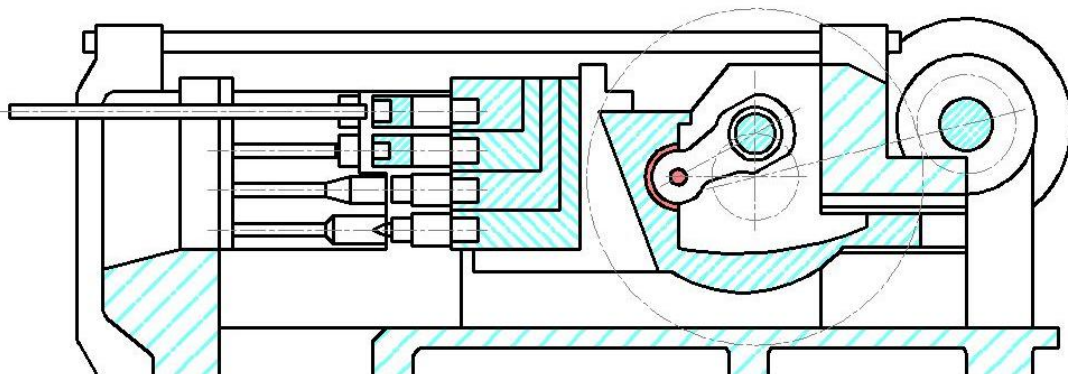


Obr. 8: Zpětné protlačování [4]

2.1.4.5 Vodorovné kovací stroje k protlačování

Vodorovné kovací stroje (dále pouze VKS) patří ke strojům s klikovým mechanismem. Smykadlo, na němž je upnutá jedna část pracovního nástroje, koná přímočarý vratný pohyb ve vodorovném směru (obr. 9). [5]

Kování na vodorovných kovacích strojích umožňuje částečnou nebo i úplnou automatizaci výrobního procesu. Jedná se v podstatě o horizontální klikové lisovnice vhodné hlavně pro přechování z tyčového materiálu a práci s uzavřenými zápustkami.[1]

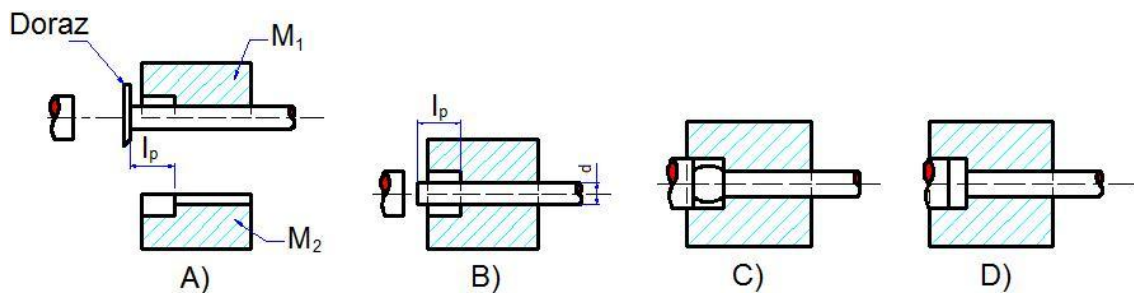


Obr. 9: Schématický náčrt stroje (půdorys) [5]

Tyčový polotovár se vloží do dutiny v nehybné (pravé) polovině části lisovnice M_1 tak, až se konec polotovaru dotkne dorazu (obr. 10A - znázorněn je přední doraz). Poté se uvede v chod boční (příčné) a hlavní smykadlo stroje. Když obě části lisovnice stisknou tyč (obr. 10B), pohybuje se hlavní smykadlo dále a část tyče (délky l_p) se tlakem lisovnicku deformuje,

takže kov vyplňuje dutinu (obr. 10C, D). Dutina může být přitom celá buď v lisovnici nebo v lisovníku, nebo zčásti v lisovnici a zčásti v lisovníku. Operací, která je např. znázorněna na obr. 10, vznikne tyčovitý výkovek s hlavou.[5]

To je nejčastější a charakteristická operace pro VKS – totiž přechování. Kromě přechování lze na VKS dělat i jiné operace. Je to neprůchozí děrování, jímž vznikají ve výkovku slepé dutiny; dále průchozí děrování, jímž vznikají ve výkovku průchozí díry; zužování, jímž se zmenšuje v určitém úseku tloušťka tyče; stříhání – tj. oddělování výkovku od tyče nebo jedné části tyče od druhé; ohýbání a konečně protlačování aj. Různými kombinacemi uvedených operací v určitém sledu je možno na VKS vyrobit výkovky nejrůznějšího tvaru a rozměrů.[5]



Obr. 10: Schéma postupu práce na VKS [5]

2.1.4.6 Nástroje pro protlačování

Důležitým faktorem je také konstrukce nástroje a geometrie průtlačníku a průtlačnice. Nelze volit libovolné úkosity, rádiusy, zaoblení, apod. tvarových částí nástroje. Nástroj, který je složen z průtlačníku a průtlačnice jako hlavních částí, je namáhán vysokými měrnými tlaky, proto závisí na jeho materiálu, tepelném zpracování a drsnosti povrchu. Životnost tvarových částí nástrojů je od 3000 do 50000 kusů. Proces protlačování ocelí za studena je omezen pevností materiálu průtlačnice, ale při zpětném protlačování i pevností materiálu průtlačníku.[1]

2.1.4.7 Výhody a zvláštnosti protlačování

Při protlačování probíhá deformace při velmi výrazném všestranném nestejném stlačení. Díky takovým podmínkám deformace se dosáhne vysoké tvárnosti (plastičnosti). Pokusy prováděné za výrobních podmínek i laboratorní zkoušky například ukázaly, že zatímco pěchování zesílené části z málotvárné oceli způsobilo její zničení (trhliny ve směru tvořících přímků i na čele zesílené části), dosáhlo se při kování podobného tvaru protlačováním v záпустce jakostního výrobku, s dobrými mechanickými vlastnostmi. Protlačování rozšiřuje tedy oblast použití málotvárných ocelí pro kování v záпустkách za tepla, a to je jeho velkou výhodou.[6]

Protlačováním lze vyrobit výkovky s nepatrným přídavkem na strojní obrábění a s poměrně velkou přesností rozměrů tloušťky dířkovité části. K protlačování lze používat levného polotovaru z válcovaného materiálu běžné nebo vyšší přesnosti.[6]

Protlačováním se výkovky vyrábějí na mnohem méně operací, než při kování na kovacích strojích. Tím se značně zvýší výrobnost kování, zejména zmechanizují-li se úkony vkládání a předávání polotovarů. Struktura i mechanické vlastnosti výkovků vyrobených protlačováním jsou srovnatelné s výkovky vyrobenými jinými postupy.[6]

2.1.5 Technologie válcování

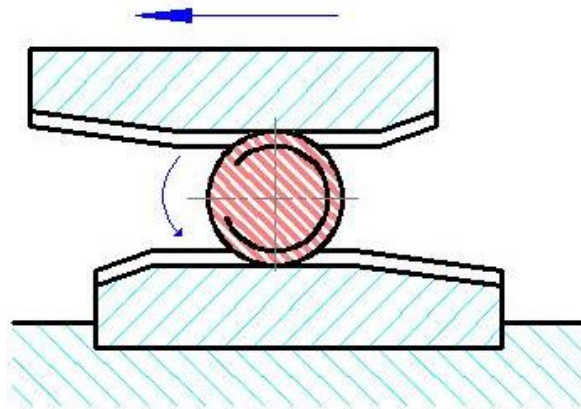
Válcováním rozumíme kontinuální proces, při kterém se tvářený materiál deformuje mezi otáčejícími se pracovními válci za podmínek převažujícího všestranného tlaku. Válcovaný materiál se mezi válci deformuje, výška se snižuje, materiál se prodlužuje a současně rozšiřuje a mění se i rychlost, kterou válcovaný materiál z válcovací stolice vystupuje. Mezera mezi pracovními válci je menší, než vstupní rozměr materiálu. Válcování se provádí hlavně za tepla, ale i za studena. Výsledkem procesu je vývalek.[1]

Proces válcování je umožněn jen v důsledku *tření* mezi pracovními válci a válcovaným materiálem. Koeficient tření f je závislý na kvalitě povrchu válců, tedy na stykových plochách a také na měrném tlaku, tedy na charakteru prokluzu. Součinitel tření a měrný tlak způsobují vznik dvou sil v místě válcování, a to normálové a tečné síly. Limitní podmínkou válcování, která vychází ze silového působení normálových a třecích sil v místě válcování je,

že součinitel tření musí být vyšší (nebo minimálně roven) než polovina úhlu záběru, tedy $f > \tan \alpha_o/2$. [1]

2.1.5.1 Válcování závitů

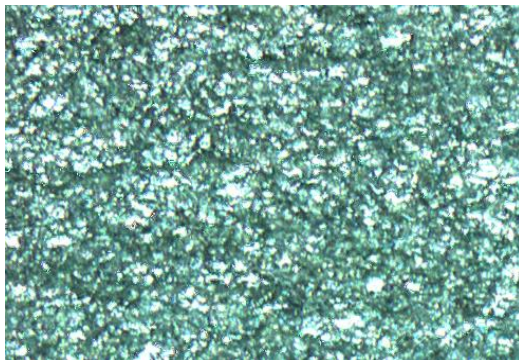
Zvláštním případem válcování je výroba tvářených závitů (obr. 11). Závity lze válcovat jedním, dvěma nebo třemi kotouči opatřenými negativem reliéfu požadovaného závitu. Nástroj se při odvalování postupně zatlačuje do polotovaru, přičemž postupuje i osově podle stoupání závitu. Zatlačování je vyvozeno hydraulikou. Tvářené závity mají vyšší únosnost, nežli závity vyráběné obráběním, nedochází k porušení vláknité textury a při tváření za studena dochází ke zlepšení mechanických vlastností v důsledku zpevňování. [1]



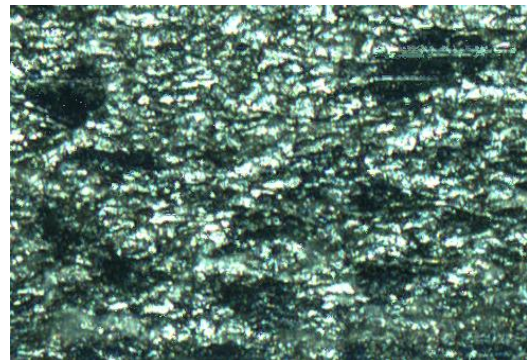
Obr. 11: Válcování závitů [1]

2.2 POVRCHOVÉ INŽENÝRSTVÍ

Používáním strojírenských výrobků dochází k jejich vzájemnému styku i k interakci s okolním prostředím a tím i k jejich povrchové degradaci vlivem opotřebení, koroze a dalších vlivů. Povrchové úpravy se tedy významně podílí na výsledné jakosti technického zařízení. Ovlivňují jeho životnost, provozní spolehlivost a tím i využitelnost, pohotovost, nároky na údržbu. Nedostatečná resp. nevyhovující povrchová ochrana může znehodnotit i vynikající technické dílo. Povrchová ochrana ovlivňuje a podmiňuje nejen funkčnost strojírenských výrobků, ale i jejich vzhled. I když vzhledově narušené zařízení jsou ještě funkčně využitelné, klesá jejich prodejnost a stoupá možnost znehodnocení okolního prostředí (obr. 12).[7]



Zpracováno neopotřebovaným nástrojem



Zpracováno opotřebovaným nástrojem

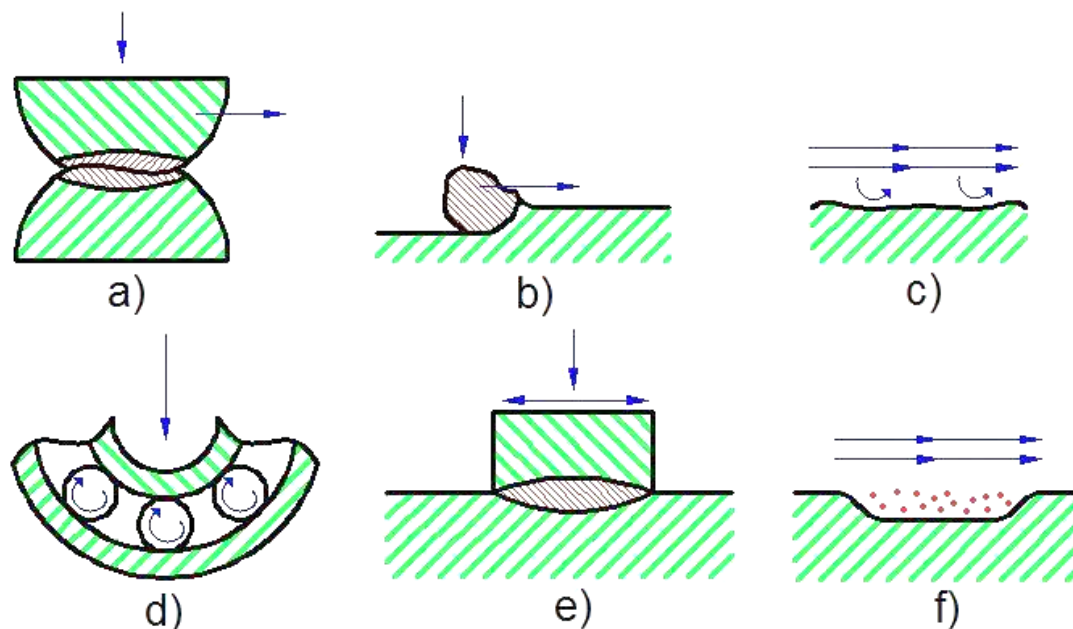
Obr. 12: Struktura povrchu po zpracování

2.2.1 Opotřebení

Obecně se opotřebení projevuje odstraňováním nebo přemísťováním částic hmoty z povrchu materiálu mechanickým účinkem, jenž je obvykle doprovázen jevy fyzikálními, chemickými, popř. elektrickými. Podíl jednotlivých pochodů a jejich kinetiku lze jen velmi obtížně vyjádřit vhodnými vztahy. Namáhání při opotřebení se obecně projevuje:

- Mikroplastickou deformací vyvolanou zatlačováním tvrdých částic do měkčího povrchu druhého členu.
- Únavou povrchových vrstev při opakovaném rázovém zatížení.
- Vznikem oxidů, který je podporován mikroplastickou deformací a zvýšením teploty v místě dotyku materiálů.
- Změnou struktury.
- Aktivací povrchových vrstev materiálu.[7]

Všechny mechanismy (mimo oxidačních) jsou charakterizovány různým vznikem trhlin, které vytvářejí nové povrchy a vedou k oddělení částí povrchů (obr. 13). Pro zlepšení odolnosti proti otěru je tedy nutné hledat cesty k potlačení vzniku trhlin a jejich šíření.[7]



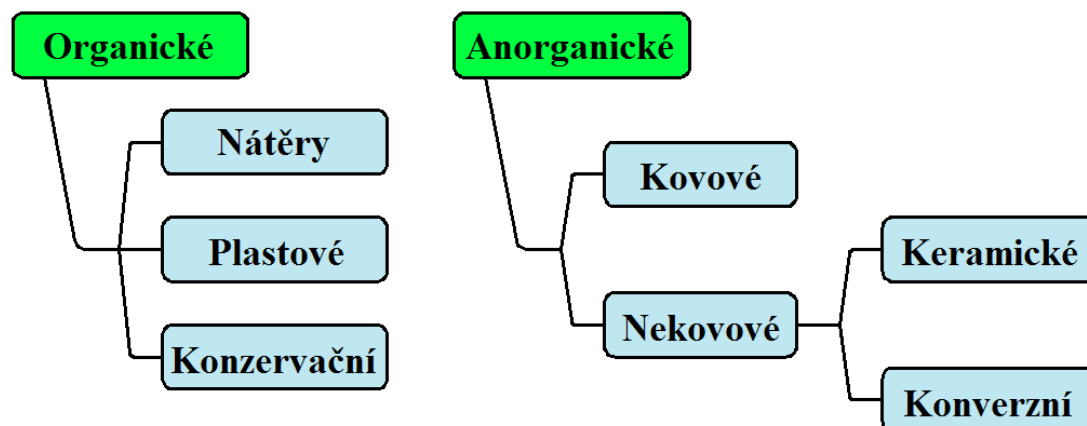
Obr. 13: Schéma různého poškození materiálu opotřebením [7] (a – adhezivní, b – abrazivní, c – erozivní, d – únavové, e – vibrační, f – kavitační)

2.2.2 Povrchové úpravy

Z hlediska strukturní povahy se povrchové úpravy dělí na povlaky a vrstvy. Povlak je na materiál nanášen, zvětšuje rozměr součásti a mezi povlakem a součástí dochází ke skokové změně mechanických, fyzikálních a chemických vlastností. Tato nestejnorodost vlastností vede ve většině případů k problémům při nanášení povlaků. Tloušťka povlaku závisí na základním materiálu a druhu aplikace. S rostoucí tloušťkou klesá přilnavost, protože roste tahové napětí v povlaku. [8]

Vrstva je součást materiálu, u níž dochází vnějším působením k chemické a strukturní změně materiálu, tedy funkční gradient změn vlastností je pozvolný. Povrchová vrstva a základní materiál jsou odděleny přechodovou oblastí iniciovanou difúzními pochody. Z tohoto důvodu neexistuje mezi povrchovou vrstvou a základním materiálem ostré rozhraní.[8]

Z hlediska chemického dělíme povlaky a vrstvy na organické a anorganické (obr. 14).[8]



Obr. 14: Základní dělení povrchových úprav [8]

2.2.3 Organické povlaky

Organické nátěrové hmoty jsou nejstarším, nejběžnějším a stále neekonomičtějším prostředkem ve všech průmyslových oborech. Tvoří asi 80 až 90 % všech povlaků. Je to dáno nejen poměrně vysokým ochranným účinkem nátěrových systémů, ale i snadností a dostupností způsobů vytváření těchto povlaků. Aplikace nevyžaduje složitá a komplikovaná zařízení, nejsou omezená tvarem a velikostí výrobku, nátěry jsou poměrně dobře opravitelné.[7]

Povlaky z plastů se vytvářejí z řady polymerů jako např. polyvinylchloridu, polyetylenu, polyamidu, atd., nejen jako protikorozní ochrana, ale i jako ochrana proti opotřebení, lepidlosti atd. Vlastnosti a odolnost k různým prostředím těchto povlaků jsou dány především charakterem použitého plastu. Pro životnost povlaku je rozhodující difúze korozního prostředí do povlaku. Zvýšení životnosti tloušťkou je možné jen do té míry, pokud se nepříznivě neovlivní kvalita vrstvy, její homogennost a vazba k podkladu.[7]

Konzervační povlaky se mají nanášet co nejdříve po očištění na všech plochách, které nemají ochranu proti korozi. Z konzervačních prostředků je nejdůležitější a nejrozšířenější použití výrobků na bázi ropy. Patří sem konzervační oleje tvořící tenký olejový film, dále pak konzervační vazelíny, vosky za přídavku parafinu.[7]

2.2.4 Nekovové anorganické povlaky

Ochranná funkce nekovových anorganických povlaků a vrstev vychází z charakteru materiálů a způsobu jejich vytváření, přičemž chrání především bariérovým způsobem (např. smalty), případně změnou korozní odolnosti (např. pasivací, oxidací).[7]

2.2.4.1 Konverzní vrstvy

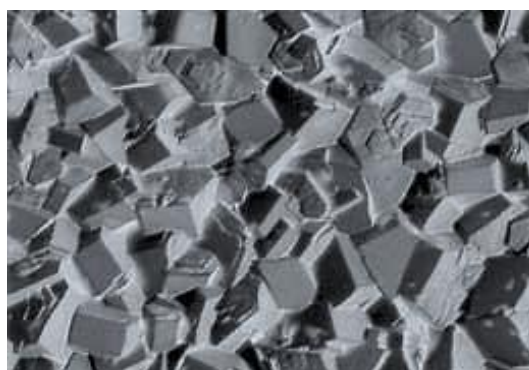
Tyto vrstvy vznikají chemickou nebo elektrochemickou reakcí kovového povrchu s prostředím, jemuž je daný kov vystaven během povrchové úpravy. Na vytvoření anorganické konverzní vrstvy se podílí jak kov, tak i prostředí (vzniklá sloučenina obsahuje složky kovu i prostředí), přičemž tyto vrstvy se vytvářejí směrem od povrchu do materiálu. Mimo využití v protikorozní ochraně jsou některé vrstvy vhodné jako určitý druh mazadla při tváření nebo zabíhání, jiné se uplatňují svými elektroizolačními vlastnostmi, tvrdostí, odolností proti otěru i dekorativním účinkem. Nejčastěji se jedná o vrstvy oxidů, fosforečnanů a chromátů kovů.[7]

2.2.4.1.1 Fosfátování

Je to jeden z nejrozšířenějších způsobů chemické úpravy povrchu, při kterém se na povrchu vytvářejí nerozpustné krystalické terciální fosforečnany zinku, železa, vápníku a manganu. Je to ekonomicky levný a jednoduchý proces (obr. 15).[7]



Ca-Zn fosfát



Mn fosfát

Obr. 15: Fosfátovaný povrch [12]

Fosfátové vrstvy jsou odolné proti korozi (i proti mořské vodě), ale přímá ochrana samotnými fosfátovými vrstvami má význam jen ojedinělý. Mechanická pevnost vrstev je malá, vrstva je měkká a nesmí být poškozena.

Fosfátová vrstva je také vždy pórovitá, přestože působí dojem celistvosti. Má šedou až černou barvu. Důležitou vlastností pevně lpících fosfátových vrstev je jejich schopnost vázat na sebe některé organické látky. Dodatečná úprava spočívá v nasycení konzervačními a impregnačními prostředky, nátěrovými hmotami nebo pasivací.[7]

Fosfátová vrstva ve spojení s vhodnými mazivy vytváří mezivrstvu, která snižuje tření mezi nástrojem a tvářeným výrobkem, je tedy vhodná jako úprava před tvářením za studena. Za tímto účelem se fosfátované předměty ponořují do horkého roztoku mýdla, kde dochází k adsorpci mýdla fosfátovou vrstvou a současně vznikají nerozpustná zinečnatá mýdla. Při tváření se část mýdla odstraní, ale zbytek se změní v sklovitou vrstvičku soudržného filmu, který pevně přilne ke kovu a velmi podstatně snižuje tření.[7]

2.2.4.2 Keramické vrstvy (Smalty)

Smalty – jsou v podstatě skla modifikovaných vlastností, které umožňují jejich přilnavost k povrchu kovů.[7]

Jejich ochranná funkce spočívá ve vytvoření nerozpustné, celistvé vrstvy natavené na podkladovém kovu, která izoluje kov od působení agresivních prostředí. Základní podmínkou této funkce je vyhovující přídržnost a neporéznost povlaku.[7]

Vrstvy smaltu se na povrch nanášejí ve formě suspenze poléváním, máčením nebo stříkáním (u litinových předmětů i poprášením) a po vysušení se vypalují při 800 až 950 °C. Nanášejí se základní a krycí vrstva nebo jednovrstvé smalty. Moderními způsoby je nanášení v elektrickém poli (bez sušení) a elektroforézní.[7]

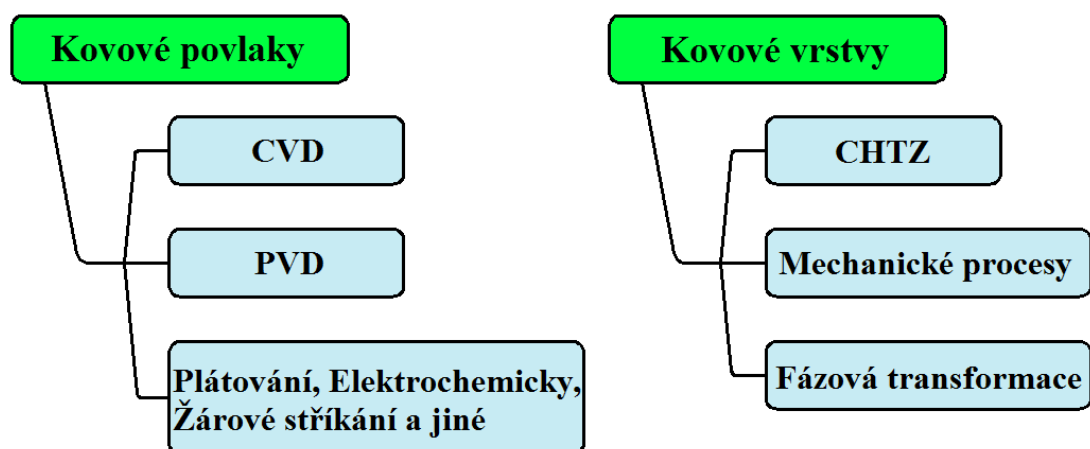
2.2.5 Kovové anorganické povlaky

Pro vytváření kovových povlaků a vrstev se používá řady kovů od velmi ušlechtilých – vzhledem k železu pozitivních, až po kovy méně ušlechtilé – vzhledem k železu negativní.[7]

Kovové povlaky se nejčastěji nanášejí metodami PVD a CVD, popř. smíšenou metodou PECVD. Metoda plátování se používá k vytváření tlustších ochranných povlaků (řádově 0,1 až několik mm). Elektrochemické pokovování je známo především u tvarově složitých součástí, avšak v

poslední době je pozornost věnována na zhotovování povlaků bez využití vnějších zdrojů proudu, např. bezproudově z roztoků, žárovým ponorem nebo žárovým stříkáním (obr. 16).[8]

Kovové vrstvy lze připravovat chemicko-tepelným zpracováním (CHTZ), při němž se uplatňují difúzní pochody a povrch materiálu je obohacován vhodnými prvky (C, N, Cr), které následně na povrchu materiálu vytváří tvrdé a otěruvzdorné vrstvy. Povrch lze také zpevnit plastickou deformací za studena pomocí mechanických procesů (kuličkování, otryskávání, válečkování) nebo v poslední řadě fázovou transformací – povrchovým kalením (obr. 16).[8]

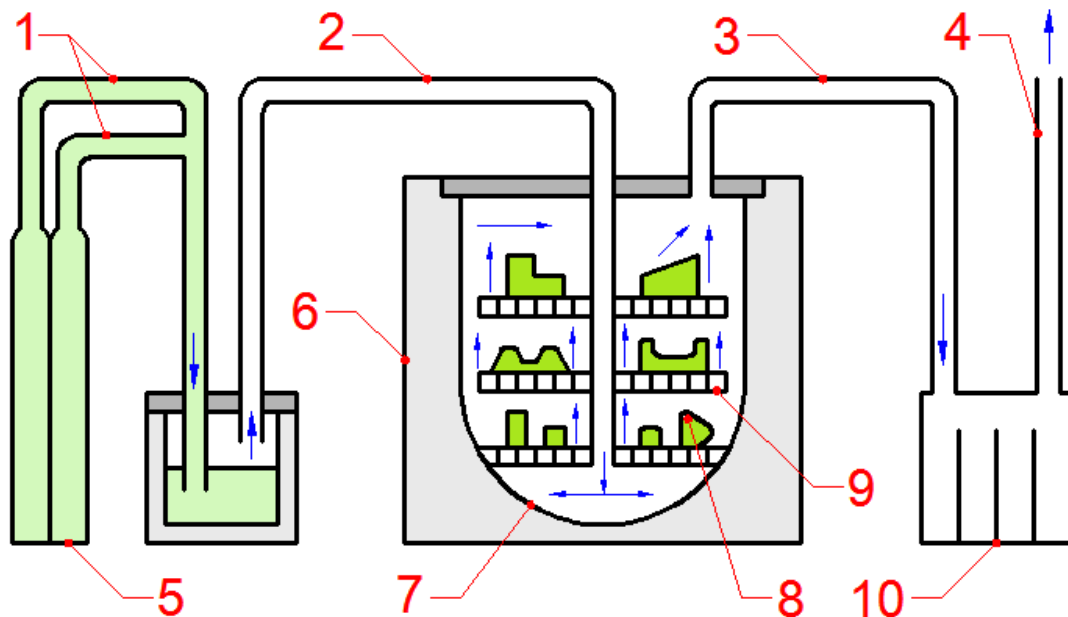


Obr. 16: Rozdělení kovových povrchových úprav [8]

Přes velkou rozmanitost materiálů a používaných technologií je možno uvést řadu obecných vztahů pro mechanismus ochranného působení kovových povlaků. Nejdůležitějším hlediskem pro hodnocení ochranné funkce kovových povlaků je tloušťka a poréznost povlaku. Životnost povlaku je přímo závislá na tloušťce, neboť se tak snižuje počet korozně významných pórů. Optimální je ten stav, kdy povlak je neporézní. Mezi tloušťkou a životností povlaků však není jednoduchá závislost, protože korodující povlak se postupně stává poréznějším a tak je nutné brát v úvahu i vliv podkladového materiálu. Stejně tak není zanedbatelný ani vliv nestejnorodosti a nehomogenity povlakového kovu zapříčiněný obvykle změnou některé určující veličiny technologie pokovení.[7]

2.2.5.1 CVD (Chemical Vapour Deposition)

Chemické povlakování není čistě fyzikální technologií, patří však k metodám vytváření tenkých povlaků. Ve své podstatě představuje soubor chemických reakcí probíhajících v plynné fázi a na rozhraní plynné a pevné fáze za určitého tlaku a současného dodávání energie, přitom vznikají vedle těkavých produktů i technicky využitelné pevné látky vhodných vlastností (obr. 17). [7]



Obr. 17: Schéma CVD [16]

(1 – nosný plyn; 2 – přívod N_2 ; 3 – odvod reakčních zplodin; 4 – odvod zplodin zbavených nečistot; 5 – odpařovač; 6 – elektrická pec; 7 – reaktor; 8 – povlakovaný předmět; 9 – grafitové desky; 10 – neutralizační jednotka)

Reakce probíhají zpravidla při tlacích 10^3 až 10^4 Pa a při teplotách 800 až 1000 °C. Zařízení pro tvorbu CVD povlaků je poměrně jednoduché: má zdroj plynných reakčních látek s měřením a regulací, reaktor s vnitřním nebo vnějším ohřevem a systém odvodu nebo sanace reakčních plynných látek. Nevýhodou jsou poměrně vysoké reakční teploty, které omezují výběr materiálu pro povlakování i na části zařízení. Dalším problémem je odvod a likvidace agresivních plynných produktů chemické reakce z reakčního prostoru. Vzniklé povlaky jsou poměrně homogenní a rovnoměrné. Vysokotavitelné sloučeniny titanu a jejich tuhé roztoky mohou vznikat přes elementární titan adsorpcí uhlíku nebo dusíku. Povlaky jsou polykrystalické,

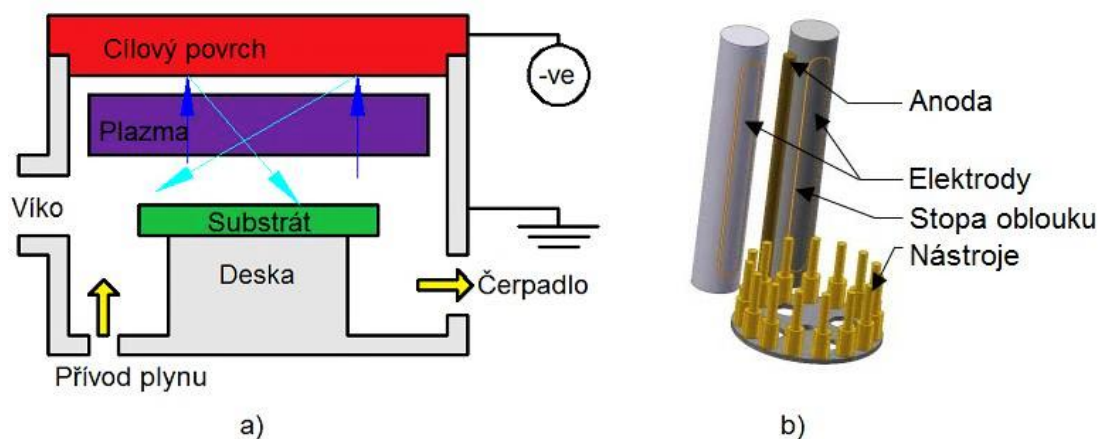
ale často mají nežádoucí sloupcová zrna s vysokým stupněm přednostní orientace podle parametrů procesu. Vývoj se soustředil na vytváření několikavrstvých povlaků z TiC, Ti(C,N), TiN nebo TiC, Al₂O₃ a TiN.[7]

2.2.5.2 PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition)

Snaha odstranit vysoké reakční teploty i vytvářet povlaky dalších materiálů vedla k použití metody PECVD, kde potřebná energie pro chemickou reakci je dodávána nízkotlakým výbojem (plazmou). K reakci potřebné molekuly plynu se v plazmě štěpí nebo aktivují, proto reakce probíhají za nižších teplot, což rozšiřuje možnost vytváření povlaků na dalších materiálech a potlačuje se i vznik pnutí. Nevýhodou je desorpce reakčních zplodin. Pracovní tlaky jsou mezi 10 až 100 Pa. Tento způsob se používá i pro přípravu povlaků z amorfního křemíku, kompozitů kov-uhlík, karbidu hliníku pro mikroelektroniku a nitridu křemíku pro solární články. Mezi moderní materiály patří i kubický nitrid boru (CBN) s velkou tvrdostí a chemickou odolností.[7]

2.2.5.3 PVD (Physical Vapour Deposition)

Základním trendem PVD metod povlakování je zajistit dostatečnou ionizaci par kovu, reaktivního a inertního plynu při pracovní teplotě, rovnoměrné rozdělení iontů v prostoru i na povrchu základního materiálu. Poměr toku reaktivního a pracovního plynu a toku kovu určuje složení povlaku. Nejpoužívanějšími zařízeními převádějícími povlakovací materiál do plynné fáze jsou magnetrony (obr. 18a) nebo nízkonapěťový oblouk (obr. 18b).[7]



Obr. 18: Schéma PVD zařízení [9, 11]

Rychlost vytváření povlaku závisí nejen na rychlosti rozprašování, syntézy a kondenzace, ale i na typu zařízení, uspořádání a technologických parametrech.[7]

PVD technologie je založena na fyzikálních principech, odpaření nebo odprášení materiálů obsažených v povlaku (Ti, Al, Si, Cr,...) a jejich následné nanesení na nástroje. Materiál je odpařován a zároveň ionizován obloukem z elektrod. Ionizovaný materiál (např. Ti^+ , Ti^{2+} , atd.) je urychlován směrem k nástrojům záporným předpětím, které je na ně přiloženo. Cestou ionizuje ještě atomy plynné atmosféry (např. N_2 , Ar,...). Ionizované atomy po dosažení povrchu nástrojů vytváří povrchovými reakcemi vlastní deponovanou vrstvu.[9]

2.2.6 Volba vhodného materiálu povlaku

Různé materiály za srovnatelných podmínek korodují nebo se opotřebovávají různou rychlostí a různými morfologickými formami. Využití specifických vlastností materiálů lišících se vzájemně fyzikálními i mechanickými vlastnostmi a korozní odolností je jedním ze základních způsobů ochrany. Prvním předpokladem pro správnou volbu materiálů a povrchových úprav je dobrá znalost jejich chování za různých podmínek a v různých prostředích.[7]

2.2.6.1 Povlak TiN

Mezi prvními vyvinutými a historicky nejstarší vrstvy patří TiN, které dosahují tvrdosti HV do 25 GPa a jejich max. pracovní teplota je 600 °C (tato hodnota se liší u různých výrobců od 500 do 650 °C). Jedná se o optimální povlak pro HSS (rychlořezné oceli) a HSS + Co. Použití zvláště na řezných a střížných nástrojích, kde dochází až k trojnásobnému prodloužení životnosti (obr. 19). Nízký koeficient tření a zvýšená odolnost proti opotřebení je výhodná také pro: vrtáky, frézy, destičky ze SK, závitníky, střížníky atd.[10]



Obr. 19: Nástroje s povlakem TiN [13]

2.2.6.2 Povlak TiCN

Vrstvy TiCN, které se vyvíjely kvůli velmi vysoké abrazivní odolnosti s tvrdostí až 37 GPa, mají dobré frikční vlastnosti, ale s malou pracovní teplotou do 450 °C. Povlak je vhodný pro nástroje z HSS (obr. 20). Velice výhodný pro tvářecí a střížné nástroje (dosahuje až desetinásobného prodloužení životnosti). Vyšší odolnost při mechanickém namáhání bříty. Při frézování se používá na legovanou a korozivzdornou ocel, šedou litinu a měď.[10]



Obr. 20: Nástroje s povlakem TiCN [14]

2.2.6.3 Povlak TiAlN

Další vývojovou skupinou vrstev jsou vrstvy na bázi TiAlN, které dosahují vysokou tvrdost HV až 33 GPa a mají vysokou max. pracovní teplotu přesahující někdy 900 °C. Vysoká abrazivní pevnost a tepelná odolnost (chemická stabilita) při vysokých teplotách. Tvrdost je vyšší než u TiN. Nízká tepelná vodivost, odolnost proti oxidaci a zvýšená tvrdost za tepla předurčuje použití tohoto povlaku pro obrábění při vysokých rychlostech a bez použití chlazení. Vrstva vhodná pro tepelně zatěžované břity (obr. 21).[10]



Obr. 21: Nástroje s povlakem TiAlN [15]

2.2.6.4 Povlak CrAlN

Alternativou k vrstvám TiAlN jsou vrstvy na bázi CrAlN, kde Ti je nahrazeno prvkem Cr. Tyto typy vrstev se objevují již od roku 1990 v odborných publikacích. V posledních letech byly publikovány různé testy vrstev zaměřené na oxidační odolnost a elektrické vlastnosti. Výhodou vrstev CrAlN je jejich vysoká chemická stabilita za vysokých teplot a adheze k substrátu i za zvýšených teplot. Tvrdost u vrstev CrAlN převyšuje 35 GPa tedy úroveň vrstev TiAlN. Tyto vrstvy doplňují vrstvy TiAlN v některých aplikacích s vysokou tepelnou stabilitou a chemickou odolností.[10]

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Při výrobě šroubů se nejvíce opotřebovává raznice k protlačování hlavy do tvaru šestihranu (příloha č. 1, 2). Pro zvýšení životnosti této raznice bylo dodavatelem navrženo použití několika různých druhů povlaků povrchu. Cílem této experimentální části je zjistit k jednotlivým povlakům mechanické vlastnosti, povrchovou strukturu, samotné složení a teoretickou dobu životnosti. Dále bude také provedeno porovnání těchto povlaků se základním povlakem, který je v současnosti pro výrobu používán.

3.1 SPOLEČNOST KAMAX s.r.o.

Raznice slouží k výrobě hlavy šroubu, které byly použity pro experimentální část bakalářské práce, jsou součástí výroby ve firmě KAMAX s.r.o. Turnov. Vzhledem ke spolupráci s touto firmou zde bude v krátkosti shrnuta sama společnost, její výrobní postup a výrobek.

3.1.1 KAMAX s.r.o.

Společnost KAMAX je technologicky celosvětově vedoucím výrobcem vysocepevnostních spojovacích prvků pro automobilový průmysl. Se stanovišti ve třech velkých automobilových regionech, v Evropě, Americe a Asii, je KAMAX důležitým dodavatelem všech významných výrobců a dodavatelů osobního a nákladního automobilového průmyslu. KAMAX je nezávislý rodinný podnik a roste jako moderní globální koncern.

Jako podnik dominující na trhu se KAMAX úspěšně soustředí na hlavní předmět podnikání: spojovací techniku. Předmět podnikání je zohledněn i ve jménu společnosti. Vyslovené K je podle klasického učení označením pro pevnost a MAX odkazuje na maximální kvalitu. V roce 2011 čítal podnik celosvětově 3100 zaměstnanců, zpracoval 156000 tun oceli a vyrobil 2,8 mld. šroubů, téměř 100% pro automobilový průmysl.

KAMAX s.r.o. Turnov je pátým závodem koncernu. V roce 2011 zde pracovalo 430 zaměstnanců, zpracovalo se 19060 tun oceli a vyrobilo se 664 mil. šroubů. Hlavními odběrateli tohoto závodu jsou Škoda Auto, Volkswagen, Audi atd.

3.1.2 Výrobky firmy KAMAX s.r.o. Turnov

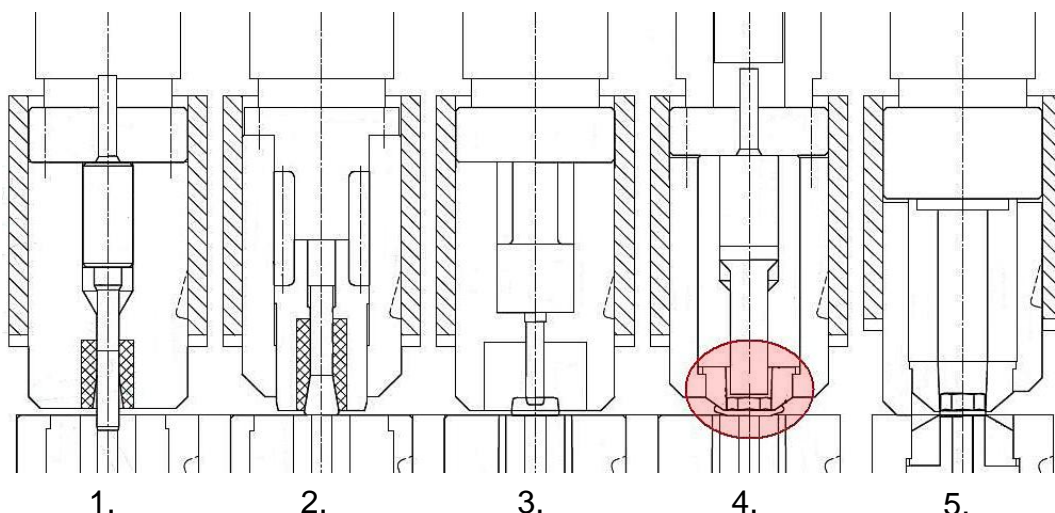
V Turnovské části koncernu se výroba soustřeďuje na výroby vysocepevnostních spojovacích dílů podle standardu nebo dle požadavků zákazníku. Především se zde vyrábějí šrouby o pevnosti v rozmezí 8,8 – 12,9 dle norem ISO (DIN), o průměrech M6 – M24 a délek 10 – 500 mm.

Dále zde vyrábějí integrované bezpečnostní díly, spojovací díly podle speciálního požadavku na materiál a samosvorné bezpečnostní díly.

3.1.3 Výrobní postup s použitím raznice typu 31Ta38.103/20

Samotný výrobní postup šroubu může být popsán sledem následujících kroků. Prvním krokem je odvinutí polotovaru, jeho narovnání a ustřížení. Během následujících kroků dojde tvářením k výrobě tvaru šroubu, tato část je zobrazena níže (obr. 22). Posledním krokem je výroba závitů šroubu tvářením.

Všechny tyto pochody jsou řízeny počítačovým programem, včetně přenášení zpracovávaného materiálu (protlačku). Díky tomu je omezena možnost lidské chyby. Obsluha stroje především po určitých vyrobených kusech kontroluje jejich kvalitu a také kontroluje stav raznic, které dle vlastního uvážení vyměňuje. To ovlivňuje počet kusů, které se s raznicí vyrobí, neboť každý pracovník má vlastní názor na to, kdy je výměna potřeba provést.



Obr. 22: Schéma tvářecího procesu

V předešlém obrázku je v pěti krocích zobrazena výroba šroubu, bez vytvoření závitu. V prvním kroku dojde protlačením ke zmenšení průměru

protlačku, podle požadovaného závitu, do určité délky. Ve zkoumaném případě jde o $\varnothing 9\text{mm}$ a délku 80mm pro závit M10x1,5. Během druhého kroku se vytvoří hlava tvaru komolého kužele. Třetím krokem dojde k zploštění předešlé hlavy a k vytvoření drážky o hloubce 3mm a $\varnothing 7\text{mm}$. Čtvrtý krok je zvýrazněn na schématu, jedná se totiž o operaci tváření, která je předmětem této bakalářské práce. Je to proces protlačování, kdy dojde k vytvoření typického šestihranu hlavy šroubu. Zároveň dojde k přetlačení přebytečného materiálu do mezery mezi průtlačníkem a čelem průtlačnice. Pátým krokem je poté odstříhnutí přebytečného materiálu. Během těchto procesů je zpracováván materiál intenzivně chlazen olejem.

3.2 MATERIÁL ŠROUBU M10x1,5

Šroub je vyráběn z oceli 32CrB4, její chemické složení je v tabulce č. 1. Polotovarem je svitek kruhové tyče o $\varnothing 9,74\text{mm}$ tažené za studena dle rozměrové normy ČSN EN 10278. Tažená tyč je před navinutím do svitku fosfátovaná.

Tab. 1: Složení materiálu polotovaru

Chemické složení [%]					
C	0,320	Cr	1,080	Cu	0,03
Mn	0,750	B	0,0026	Mo	0,007
Si	0,090	Ti	0,029	N	0,0046
P	0,010	Al	0,033		
S	0,005	Ni	0,04		

V tabulce č. 2 jsou uvedeny mechanické vlastnosti materiálu pro zpracování dané výrobcem.

Tab. 2: Mechanické vlastnosti materiálu polotovaru

Mechanické vlastnosti					
	Re [MPa]	Rm [Mpa]	Z [%]	A [%]	Fosfát [g/m ²]
Min.	447	513	30,5	73,1	7,9
Max.	486	542	34,0	75,1	11,8

3.3 PROVÁDĚNÉ EXPERIMENTY

Experimenty byly provedeny dle následujícího postupu:

1. Měření na elektronovém mikroskopu, *pro zjištění základního chemického složení povlaku.*
2. Zkouška mikrotvrdosti, *pro možnost porovnání, zda nedošlo při procesu protlačování ke zpevnění povrchu.*
3. Měření na optickém laserovém mikroskopu *bylo provedeno pro zobrazení struktury povrchu.*
4. Teoretická životnost raznic *byla stanovena ze sledování výroby šroubů testovanými raznicemi.*
5. Ekonomické zhodnocení, *na základě informací od dodavatele a výsledků předešlého měření*

3.3.1 Měření na elektronovém mikroskopu

Protože výrobce povlaku poskytuje pouze základní informace o povlaku, tedy jen jeho tvrdost, životnost a cenu (uvedeno v tabulce č. 3), bylo potřeba zjistit, o jaký typ povlaku se vlastně jedná. Za tímto účelem bylo provedeno měření na rastrovacím elektronovém mikroskopu TESCAN VEGA2 XMU (obr. 23).

Tab. 3: Vstupní informace o povlacích

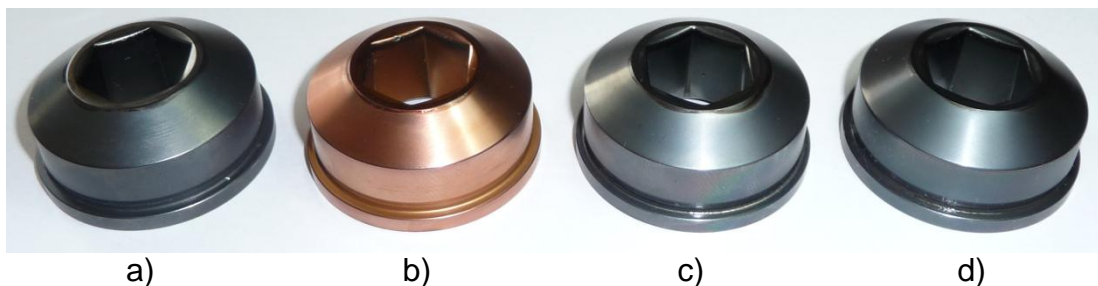
Povlak	Životnost	Tvrdost	Cena
483885	90600ks	61,5HRC	33 €
492283	49600ks	61,3HRC	8 €
489923	64000ks	61,6HRC	10 €
Základ	29000ks	61,5HRC	3 €

Pro změření složení povlaku je mikroskop vybaven mikroanalytickým systémem QUANTAX firmy Bruker, který provádí lokální chemickou mikroanalýzu. Vyhodnocení bylo provedeno pomocí softwaru Bruker XFlash 4010.



Obr. 23: Elektronový mikroskop TESCAN

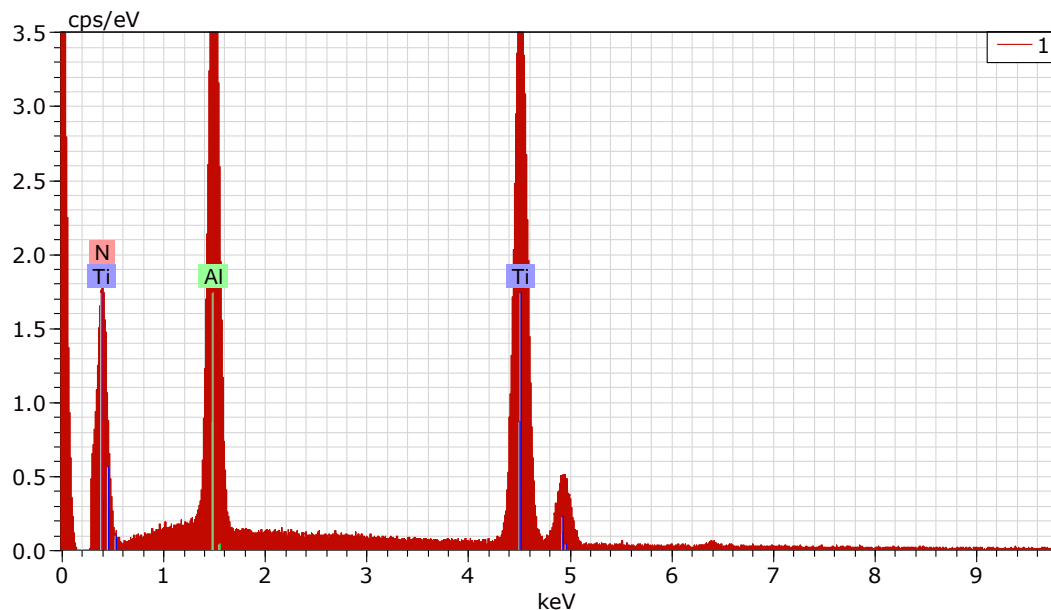
Měření bylo provedeno na 4 vzorcích. Jako vzorky byly použity očištěné raznice s novými povlaky (obr. 24a, b, c) a jedna raznice se základním povlakem (obr. 24d).



Obr. 24: Vzorky měřených raznic

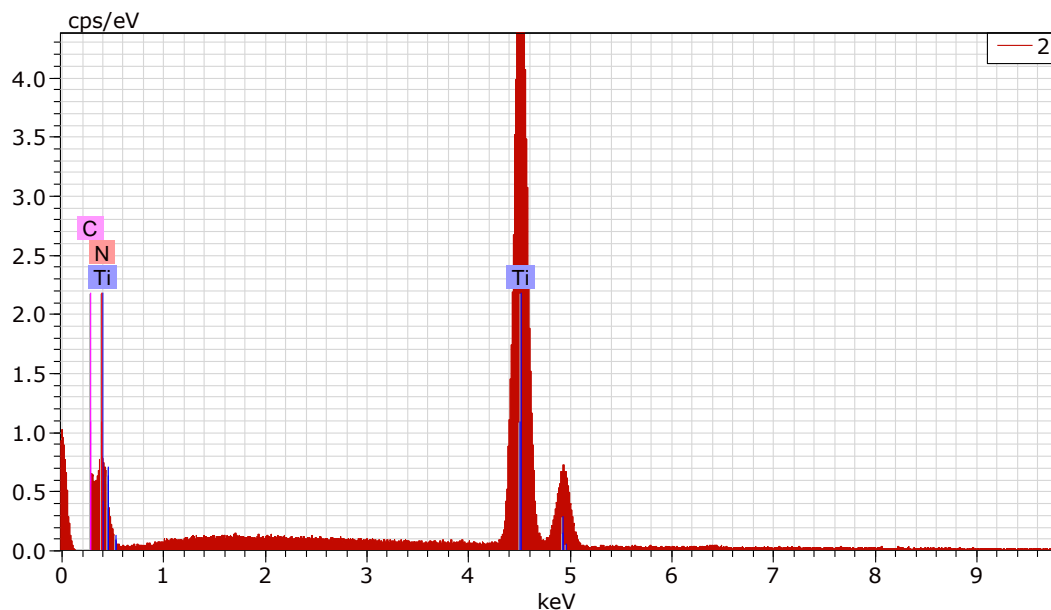
Výsledkem měření byl pro každý vzorek graf, na kterém jsou zvýrazněny právě ty hlavní prvky, které tvoří výsledný povlak. Ukázka protokolu z provedeného měření mikroskopem je v příloze č. 3, hodnoty uvedené v tabulce protokolu lze brát pouze jako orientační.

Pro vzorek s označením 483885 (obr. 24a) bylo naměřeno složení skládající se především z Al, Ti, N (obr. 25). Tomuto složení odpovídá povlak TiAlN zmíněný v kapitole 2.2.6.3.



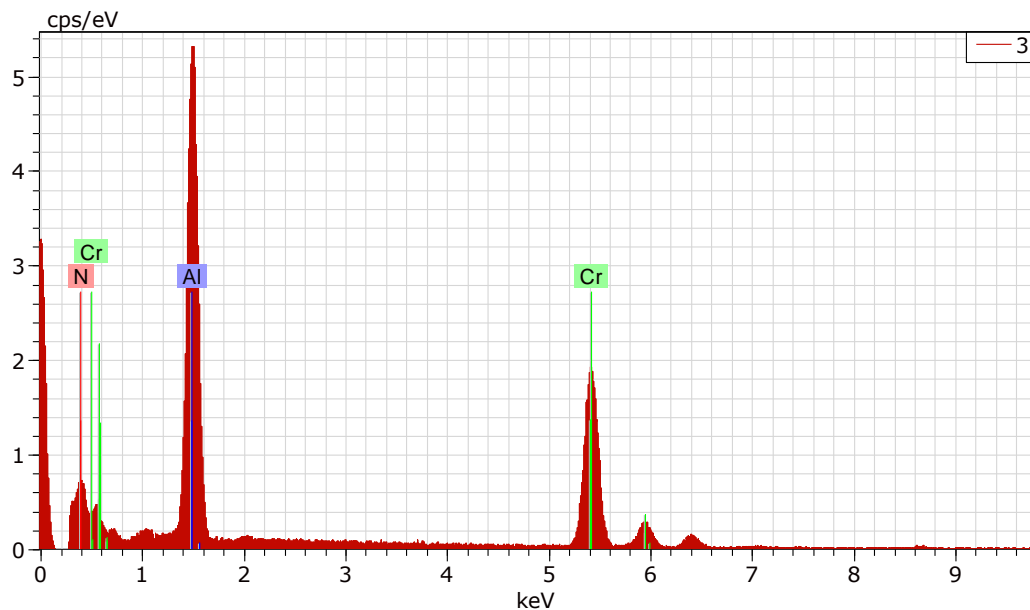
Obr. 25: Graf chemického složení vzorku 483885

U vzorku s označením 492283 (obr. 24b) bylo naměřeno složení skládající se z prvků C, N, Ti (obr. 26). Pro toto složení odpovídá povlak TiCN zmíněný v kapitole 2.2.6.2.



Obr. 26: Graf chemického složení vzorku 492283

Pro vzorek označený 489923 (obr. 24c) byly naměřeny ve složení povlaku prvky Cr, Al, N (obr. 27). Stejné prvky byly naměřeny i u vzorku základního povlaku (obr. 24d), graf z měření je v příloze č. 3. Povlakem těchto raznic je tedy CrAlN, který je popsán v kapitole 2.2.6.4. V grafu povlaku 489923 se více projeví prvky, na které byl povlak nanesen.



Obr. 27: Graf chemického složení vzorku 489923

Měření chemického složení povlaků proběhlo úspěšně, souhrn výsledků je zobrazen v tabulce č. 4.

Tab. 4: Výsledky měření chemického složení povlaků

Typ raznice	Druh povlaku
483885	TiAlN
492283	TiCN
489923	CrAlN
Základ	CrAlN

3.3.2 Měření mikrotvrdosti

Vlivem povlakování by mohlo dojít ke změně tvrdosti raznice, tím by se snížila její houževnatost a byla by náchylnější k porušení. Nepředpokládaná vyšší tvrdost by mohla způsobit problém při procesu tváření, proto se přistoupilo k následující zkoušce.

Pro ověření, zda je rozdílná hodnota tvrdosti raznice před povlakováním a po povlakování, byla zvolena zkouška mikrotvrdosti dle Rockwella, zkouška vnikací. Zkouška byla provedena dle normy ČSN EN ISO 6508-1. Měření se provedlo na analogovém tvrdoměru (obr. 28), z jehož stupnice se přímo odečetla hodnota tvrdosti. Výsledky měření jsou v tabulce č. 5.



Obr. 28: Analogový tvrdoměr pro zkoušku dle Rockwella

Při měření se použil diamantový kužel, předzatížení bylo $F_0 = 98,07\text{N}$ a celkové zatížení pak $F = 1471\text{N}$. Za těchto podmínek je zkouška označena symbolem tvrdosti HRC. Měření se provedlo na čelní ploše raznice.

Tab. 5: Naměřené hodnoty mikrotvrdosti

Tvrdost [HRC]				
	483885	492283	489923	Základ
Před povlakováním	61,5	61,3	61,6	61,5
Po povlakování	61,5	61,3	61,7	61,4

3.3.2.1 Zhodnocení výsledků tvrdosti

Dle výsledků měření tvrdosti lze říci, že během procesu povlakování nevzniká na raznicích vyšší tvrdost. Tvrdost se liší v desetinách a na všech raznicích je okolo 61,5 HRC, což souhlasí s tvrzením dodavatele.

3.3.3 Měření na laserovém mikroskopu

Měření mikrostruktury a morfologie povrchu bylo provedeno na mikroskopu Olympus LEXT OLS 3000 a výsledky zobrazeny na monitoru PC (obr. 29). Tento mikroskop je typem rastrovacího konfokálního laserového mikroskopu s vysokým rozlišením. Umožňuje pořizovat snímky ve 2D i 3D (příloha č. 4), dokáže změřit šířku čáry a profil výškového rozdílu (příloha č. 5), vše v různých režimech zobrazení.



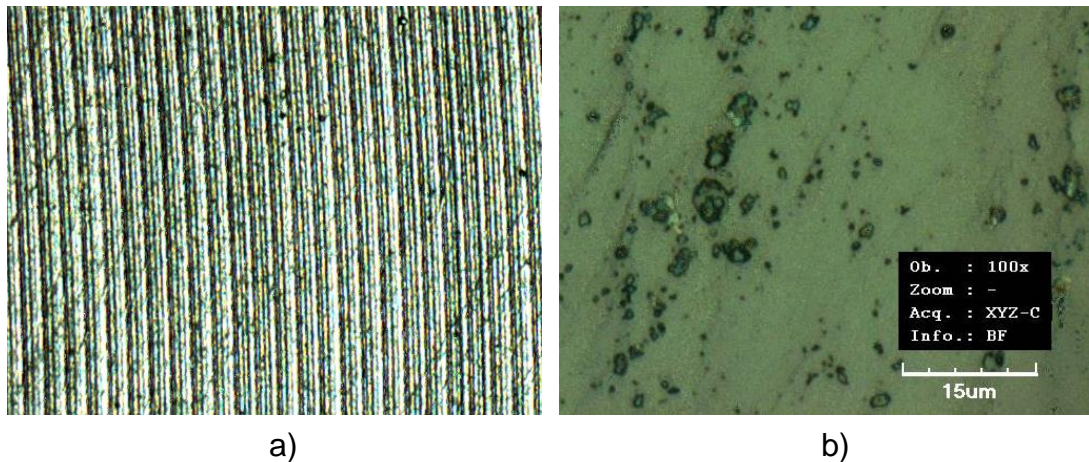
Obr. 29: Laserový mikroskop s PC

Vzorky pro tuto zkoušku musely být zbaveny všech nečistot, které by ovlivnily výslednou fotografii povrchu. K tomu bylo použito čisticí roztok na bázi alkoholu a ubrousek z nanovláken pro vyleštění.

Při měření samotném bylo nasnímáno pro každý povrch několik fotografií, které budou zobrazeny v přílohách. V části experimentální se pokusím popsat vybranou fotografii, ke každému jednomu povlaku. Pro pořízení snímků byla zvolena kuželová plocha raznice, které se procesu protlačování nezúčastnila a nebyla jím tedy ovlivněna.

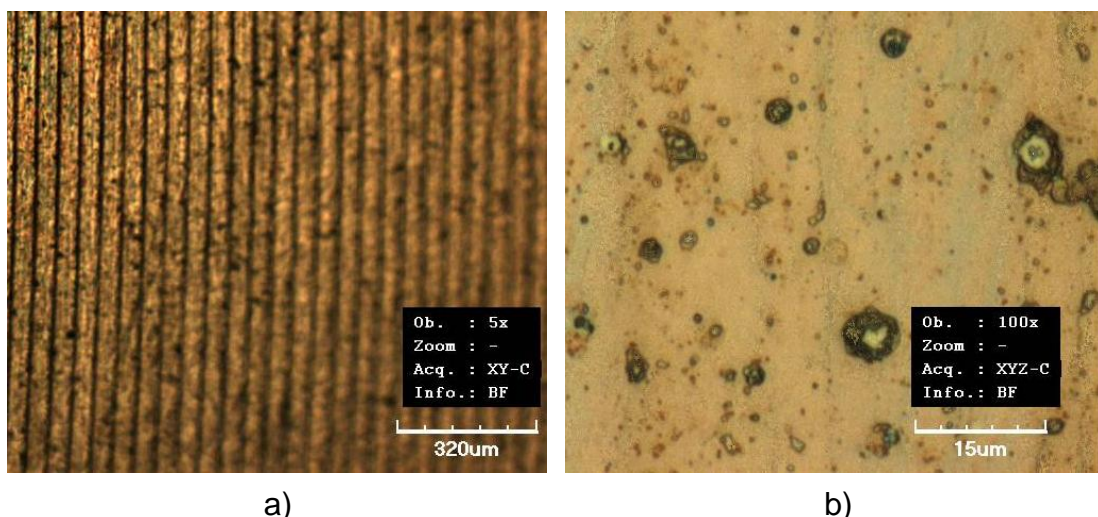
Při pětinasobném zvětšení povlaku 483885 (obr. 30a) jsou na povrchu rozeznatelné stopy po předešlém obrábění, při dalším zvětšení (příloha č. 6) jsou na povrchu viditelné i stopy po leštění. Snímky povrchu jsou pořízeny ve 2D v příloze č. 6 a ve 3D v příloze č. 7. Při zvětšení 100x lze rozeznat krystaly některých kovů ve složení povlaku (obr. 30b), lépe rozeznatelné je to na snímku povrchu v příloze č. 6. V příloze č. 7 jsou viditelné oblasti s prohlubněmi, ve kterých se uchytil chladicí prostředek protlačování, i přes

vyčištění povrchu před měřením. Na snímcích v přílohách je patrná čistě stochastická morfologie povlaku.



Obr. 30: Snímek povrchu povlaku 483885

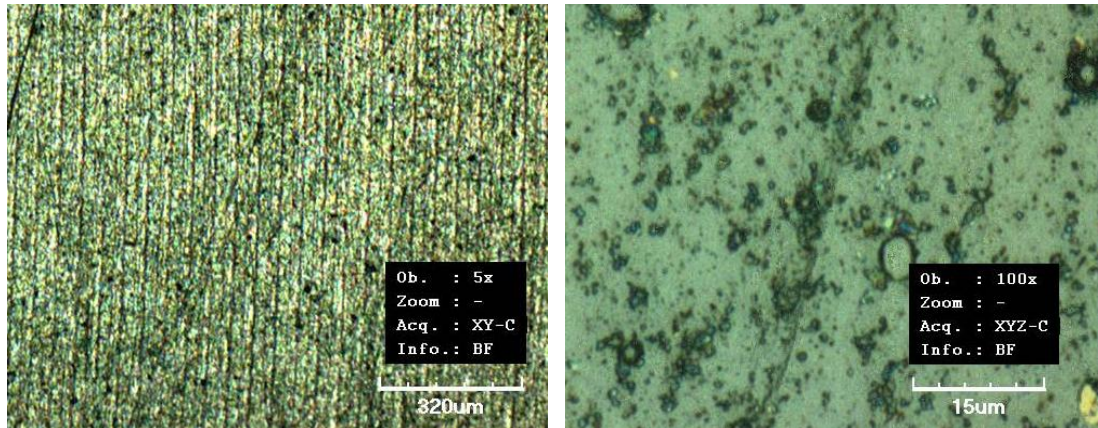
Snímek povrchu povlaku 492283 (obr. 31a) nám opět zobrazuje stopy po obráběcím nástroji, při dalším zvětšení (příloha č. 8) se také dají rozeznat stopy po leštění povrchu, ale nejsou tak znatelné jako v předešlém případě. Pro tento povrch jsou snímky ve 2D v příloze č. 8 a 9, ve 3D pak v příloze č. 10. Na 2D snímcích jsou, oproti předchozímu případu, lépe viditelné krystaly kovů ve složení povlaku (obr. 31b). Morfologie povrchu povlaku není úplně stochastická, neboť na 3D snímcích jsou v mezerách, které vytvořil obráběcí nástroj, vidět opakující se rýhy. Jako u předchozího případu jsou vidět prohlubně, kde se zachytil chladicí prostředek protlačování.



Obr. 31: Snímek povrchu povlaku 492283

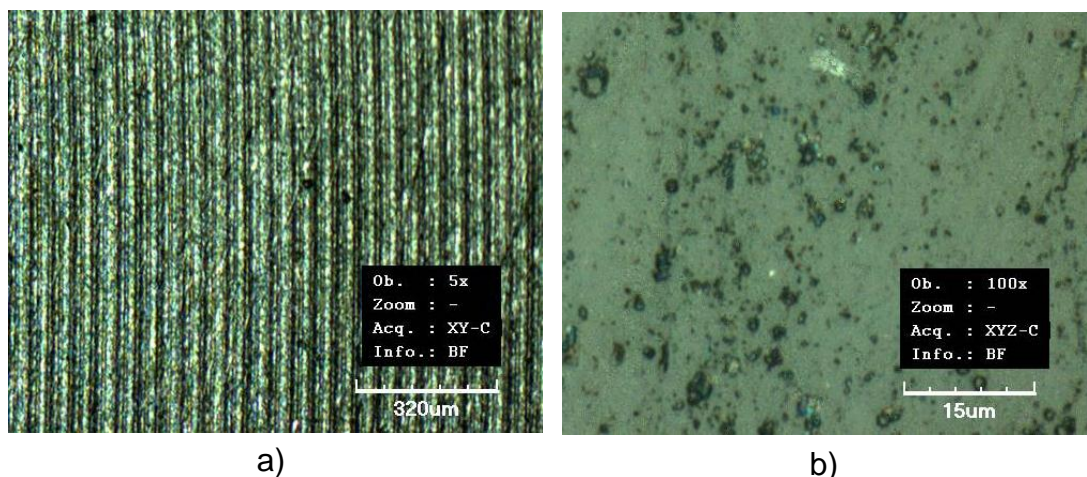
Snímek povrchu povlaku 489923 (obr. 32a) také zobrazuje stopy po obrábění, při větším přiblížení (příloha č. 11), ale nejsou viditelné stopy po

leštění povrchu. V příloze č. 11 jsou 2D snímky a v příloze č. 12 jsou snímky ve 3D. Zde jsou zřetelněji vidět místa se zachyceným chladícím prostředkem. Místa jsou rozeznatelné krystaly kovů, ale více je na mikrostruktuře viditelné velké procento trhlinek (obr. 32b).



a) b)
Obr. 32: Snímek povrchu povlaku 489923

Posledním povlakem k nasnímání byl ten základní, vzhledem k tomu, že jeho složení bylo stejné jako u povlaku 489923, jsou si výsledné fotografie podobné. V příloze č. 13 jsou snímky ve 2D a příloha č. 4 obsahuje 3D snímky. I zde je viditelná stopa po obrábění (obr. 33a), ale jako u předchozího případu, i zde není rozeznatelná stopa po leštění. Na snímkách se objevila výrazná puklina v povlaku, skrze kterou prosvítal základní materiál. V příloze č. 5 je ukázka měření této pukliny. Také zde jsou místy rozeznatelné krystaly kovů, ale není zde tak velké procento trhlinek, to může být způsobeno právě větší šířkou povlaku (obr. 33b).



a) b)
Obr. 33: Snímek povrchu základního povlaku

3.3.3.1 Vyhodnocení nasnímaných povrchů

Na každém snímaném povrchu byla při zvětšení viditelná stopa po předešlých obráběcích operacích. U všech povrchů byly vidět prasklinky, ve kterých se zadržovala zbytková kapalina. Povrchy projevovali stochastickou morfologii, i když u povlaku 492283 se projevila jistá opakovatelnost rýh. Z pohledu homogenity struktury se nejlépe jevily povrchy s povlaky 483885 a 492283.

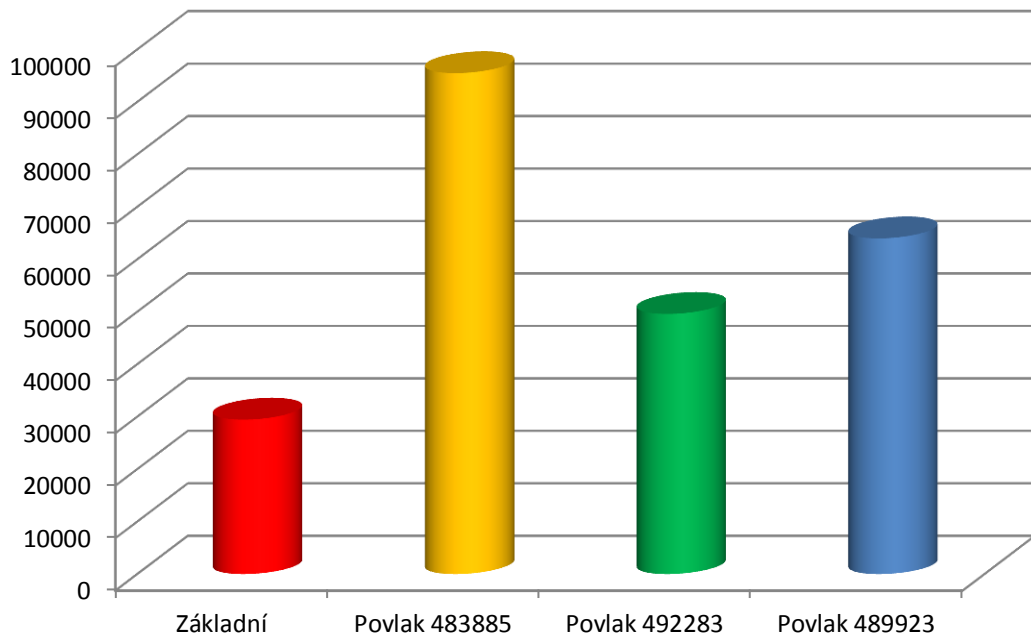
3.3.4 Stanovení doby životnosti

Pro stanovení doby životnosti jsou použity výsledky ze sledování produkce výroby šroubů, ty zobrazuje tabulka č. 6. Tento krok je výrazně ovlivněn obsluhou výrobního stroje, která svým posouzením rozhoduje o stavu raznice, zda je potřeba vyměnit, nebo jestli je její stav dostatečný pro kvalitní produkci. Proto bude posouzeno i poškození raznic, vzhledem k počtu jimi vyrobených kusů. Toto posouzení raznice bude provedeno pouhou optickou kontrolou, obsluha stroje totiž nemá k dispozici jinou možnost kontroly.

Tab. 6: Výsledky sledování produkce

Sledování životnosti nástroje [ks]						
Vzorek Povlak	1.	2.	3.	4.	5.	Průměr
483885	163000	66000	74000		79000	95500
492283	38000	38000	52000	59000	61000	49600
489923	67000	89000	45000	69000	50000	64000

Průměrná doba životnosti raznice se základním povlakem je stanovena dlouhodobým měřením na 29 450ks šroubů. Průměrná doba životnosti raznic s novými povlaky je zatížena chybou, kvůli nedostatku zkušebních raznic, k dispozici bylo jen 5 raznic ke každému povlaku. U povlaku 483885 je průměrná hodnota vypočtena jen ze 4 hodnot, neboť při výrobě se pokusily vynechat z procesu chlazení, čímž došlo ke skokovému snížení životnosti raznice. Porovnání průměrných hodnot životnosti je zobrazeno grafem na obrázku 34.



Obr. 34: Graf životnosti nástrojů

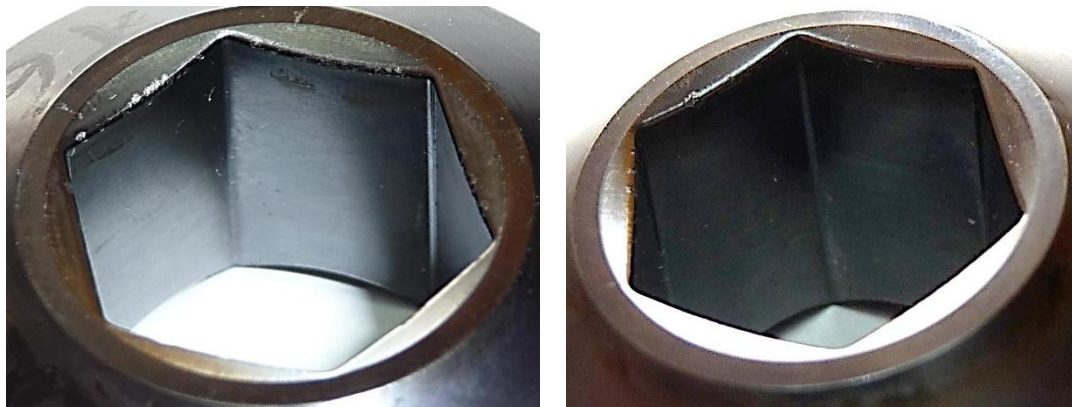
Z grafu vyplývá, že největší životnost měla při výrobním procesu raznice s povlakem 483885. Dále provedeme optickou kontrolu používaných raznic, abychom ověřily, zda nebyla některá z raznic používána až příliš dlouhou dobu, nebo příliš krátkou.

3.3.4.1 Optická kontrola raznic

Každá z raznic v místech, kde probíhalo protlačování, nesla stopy opotřebení. Ve většině případů šlo o stejný druh poškození, nebo povrchového opotřebení. U většiny použitých raznic je viditelné odtržení části materiálu od raznice. Což bylo považováno za důvod pro přerušení práce s danou raznicí. Také se na všech podepsal vliv tření mezi raznicí a protlačovaným materiálem.

Na raznici s povlakem 483885, která dokázala vyrobiť 163 000ks, je patrné vysoké opotřebení vlivem tření a spousta drobných odštěpení (obr. 35a). Přesto ale vyrobené šrouby prošli kontrolou jakosti. Naproti tomu u raznic stejného povlaku, kde ale nedošlo k výrobě takového počtu šroubů, nebylo viditelné opotřebení vlivem tření, objevilo se pouze pár drobných odštěpení (obr. 35b). Snímky povrchu šroubů, které jsou přiloženy v příloze č. 14, však ukazují znatelný rozdíl v mikrostruktuře. Vyrobených 163 000ks bych proto

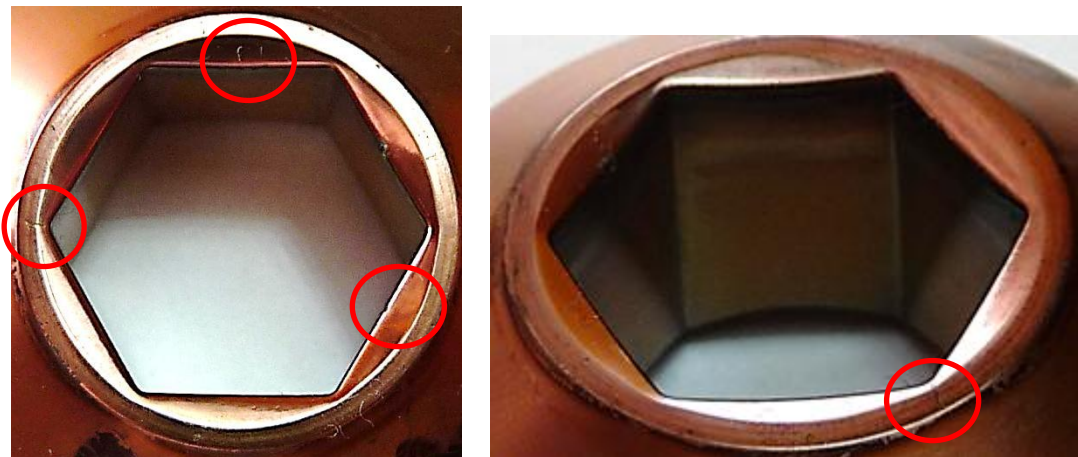
považoval za limitní počet, neboť přesto že šrouby prošly kontrolou jakosti, jejich struktura již neodpovídá struktuře průměrného šroubu.



a) b)
Obr. 35: Použitá raznice s povlakem 483885

Vzhledem k předpokladu, že všechna tato odštěpení nevznikla najednou, ale postupně. Lze konstatovat, že obsluha vyměnila používané raznice předčasně, snížila tím tedy jejich životnost, která by se tak mohla pohybovat i nad 100 000ks.

U raznice s povlakem 492283 se vyskytovalo mírné opotřebení a občasné odštípnutí materiálu. U raznic, které vyrobily přes 50 000ks, se však objevily praskliny (obr. 36).



Obr. 36: Použitá raznice s povlakem 492283

Výskyt prasklin při nižší výrobní produkci poukazuje na nevhodný typ povlaku.

Raznice s povlakem 489923 vykazovali minimální opotřebení a minimum odštěpků (obr. 37).



Obr. 37: Použitá raznice s povlakem 489923

Podle výsledků optické kontroly lze říci, že navržením lepšího procesu při kontrole stavu raznice, by bylo možné dosáhnout lepších výsledků trvanlivosti. Určit specifické vady raznice pro její vyřazení a dodat obsluze stroje pomocné měřicí zařízení by se tedy mohlo projevit zvýšením celkové produktivity, tím pádem i výdělku.

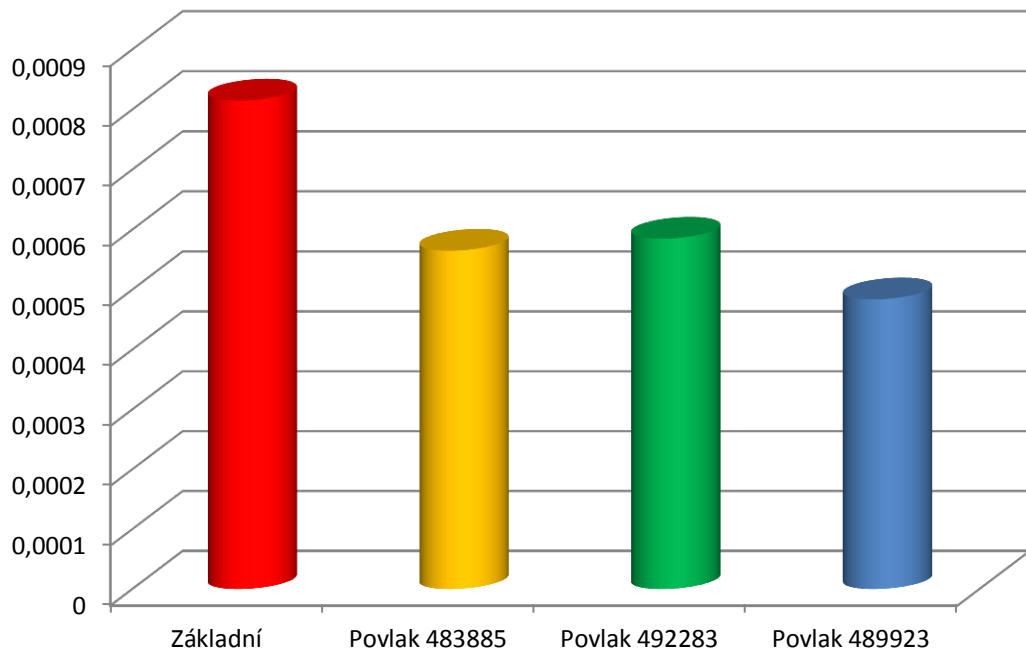
3.3.5 Ekonomické zhodnocení povlaků

V dnešní době je cena ten nejdůležitější faktor, v následující části je proto zpracováno ekonomické zhodnocení navrhovaných povlaků, a porovnání s dosavadním používaným povlakem. Ceny jednotlivých povlaků jsou uvedeny v tabulce č. 7. V této tabulce je uvedena cena raznice celkem, ta je dána součtem ceny povlaku a ceny raznice bez povlaku, která činí 21€.

Tab. 7: Ceny jednotlivých povlaků

Typ povlaku	Základ	483885	492283	489923
Cena povlaku	3 €	33 €	8 €	10 €
Cena celkem	24 €	54 €	29 €	31 €

Tyto cenové rozdíly nám však pro srovnání nestačí. Pro vyhodnocení, které z povlaků jsou nejvýhodnější pro výrobu, je potřeba tuto cenu vztáhnout i k počtu vyrobených kusů (viz. Tabulka 6). Takto vztažená cena k jednomu vyrobenému kusu, je pro nás směrodatná (obr. 38). Při sledování produkce výroby šroubu byl použit jeden stroj a obsluha měla stejnou kvalifikaci, výsledná cena nebude tedy ovlivněna prací na různých strojích s různě kvalifikovanou obsluhou.



Obr. 38: Graf porovnávající ceny výroby jednoho šroubu

3.3.5.1 Vyhodnocení ekonomického zhodnocení

Na grafu obrázku 38 lze pozorovat, že v současnosti používaný povlak raznice, je pro výrobu šroubů KX 1691 ve firmě KAMAX s.r.o. ekonomicky nevyhovující. Při použití jakéhokoliv z navrhovaných povlaků by došlo ke snížení provozních nákladů. Toto zhodnocení však bylo provedeno s poměrně malým počtem raznic, pro zajištění větší přesnosti by bylo potřeba provést dlouhodobé zkoušení.

Při porovnání ceny jednoho vyrobeného šroubu navrhovaných povlaků vyplývá, že i přes počet vyrobených šroubů, kterých dosáhla raznice s povlakem 483885, není její použití nejvíce ekonomické. Nejlevnější povlak 492283 vzhledem k nízkému počtu vyrobených kusů také nevyšel nejlépe. Ekonomicky nejvýhodnějším povlakem z nově navrhovaných se ukazuje být typ 489923, který má složení CrAlN.

4. ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo porovnat jednotlivé povlaky povrchu raznice a vybrat tak nejvhodnější povlak pro hromadnou výrobu. Za tímto účelem byla provedena předešlá měření ke zjištění složení povlaku, jejich tvrdosti, morfologie povrchu a sledováním výroby i teoretická doba životnosti.

Provedením chemické analýzy povrchu na elektronovém mikroskopu bylo zjištěno, o jaký druh povlaku se jedná a bylo tak možné si vyhledat informace o jeho vlastnostech. Zkoušky tvrdosti potvrdily, že povlaky si zachovávají svoji tvrdost i po používání a nejsou tedy ovlivněny vysokými výrobními tlaky. Měření mikroskopu nám ukázala, který povrch se jeví nejvíce jako homogenní a na kterém povrchu je nejméně trhlinek. Ze sledování výroby pak vzešly výsledky životnosti raznic, které byly doplněny o stav těchto raznic po výrobním procesu. Z těchto provedených testů vyplývá, že nejlepším povlakem pro výrobu je typ TiAlN.

V závěru bakalářské práce bylo provedeno ekonomické zhodnocení, které porovnálo náklady na výrobu jednoho šroubu dle použitých typů povlaků. Zde bylo zjištěno, že i přes nejvyšší produkci šroubů není povlak TiAlN výhodný, kvůli jeho vysoké ceně. Jako nejvýhodnější vyšel povlak typu CrAlN, jehož zavedení by přineslo firmou žádané zvýšení efektivnosti výroby, zvýšení zisku společnosti.

Pro firmu KAMAX s.r.o. byly ceny jednotlivých navrhovaných povlaků však nevyhovující. Proto se obrátila se zjištěnými vlastnostmi povlaků na jiného dodavatele. Zvolila stejné povlaky se zvýšenou tvrdostí 64HRC, které budou v brzké době dodány a vyzkoušeny ve výrobě. Cena těchto povlaků je oproti původnímu dodavateli několikanásobně menší.



SEZNAM LITERATURY

- [1] LENFELD, P.: *Technologie II. – část 1*. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2009. 110s. ISBN 978-80-7372-465-5
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/index.htm

- [2] PETRUŽELKA, J.; BŘEZINA, R.: *Úvod do tváření II*. Ostrava: Vysoká škola báňská, 2001. 115s. ISBN 80-7078-877-1
http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Uvod_TV2.pdf

- [3] Učební texty z oblasti teorie a technologie tváření VŠB-TU v Ostravě
<http://www.345.vsb.cz/jirihruby/TTV/index.htm>

- [4] Učební texty z oblasti teorie a technologie tváření VŠB-TU v Ostravě
<http://www.345.vsb.cz/jirihruby/Stv/Cvika.htm>

- [5] BRJUCHANOV, A., N.; REBELSKIJ, A., V.: *Zápustkové kování II*. Moskva, 1952. 352s. Překlad: VLADYKA, J.

- [6] BRJUCHANOV, A., N.; REBELSKIJ, A., V.: *Zápustkové kování III*. Moskva, 1952. 224s. Překlad: VLADYKA, J.

- [7] KRAUS, V.: *Povrchy a jejich úpravy*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2000. 218s. ISBN 80-7082-668-1
<http://tzs.kmm.zcu.cz/POUcelk.pdf>

- [8] VRASPÍROVÁ, E.: *Bakalářská práce*. Brno : VUT v Brně, 2010. 66s.
http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=30476

- [9] Technické informace společnosti SHM s.r.o. Šumperk
<http://www.shm-cz.cz/cs/technicke-informace/pvd-technologie-shm>



- [10] HUDEČEK, P.: *Diplomová práce*. Brno : VUT v Brně, 2009. 71s.
http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=15303

- [11] Internetový článek o principu PVD povlakování
<http://www.micromagazine.com/archive/01/07/bavin.html>

- [12] Internetový článek o principu fosfátování
<http://www.pfonline.com/articles/phosphate-conversion-coatings>

- [13] Vlastnosti vybraných typů povlaků
<http://www.ijs.si/ctp/vrste%20prevlekA.html-l2>

- [14] Technické informace společnosti STS-group Italy
<http://www.sts-group.it/eng/ticn-plus-coatings.html>

- [15] Obchodní stránky Alibaba.com
http://www.alibaba.com/product-free/111740341/Solid_Carbide_End_Mills_TiAlN_Coated.html

- [16] KUBÍČEK, J.; KOUŘIL, M.: *Povrchové úpravy a tepelné zpracování*. Brno: VUT v Brně, 2002. 31s.
<http://www.fme.vutbr.cz/opory>

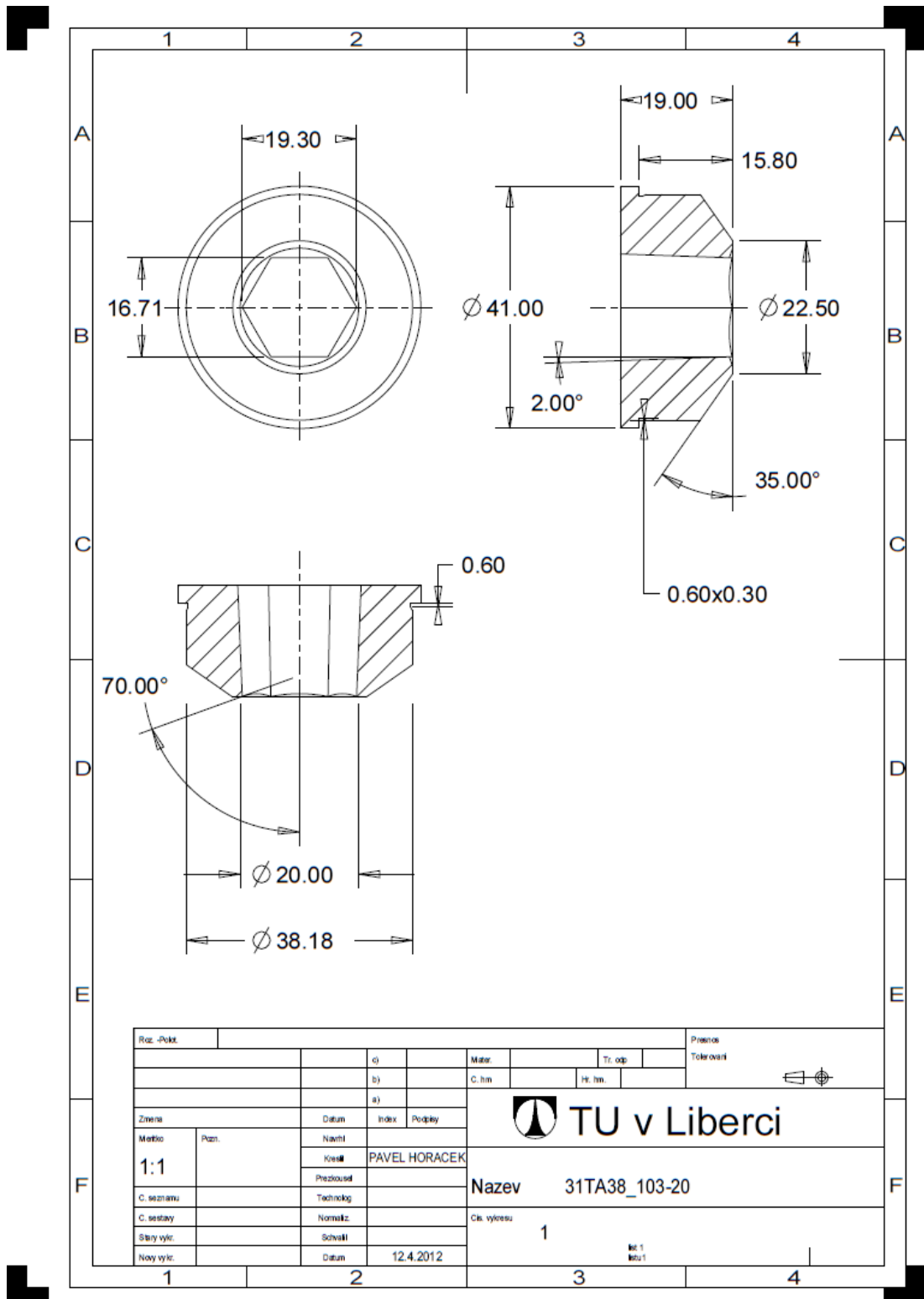


SEZNAM PŘÍLOH

1. Výkres raznice typu 31 Ta 38.103-20
2. 3D model raznice typu Ta 38.103-20
3. Protokol z chemické mikroanalýzy základního povlaku
4. 3D snímky základního povrchu
5. Ukázka měření praskliny na laserovém mikroskopu
6. 2D snímky povrchu povlaku 483885
7. 3D snímky povrchu povlaku 483885
8. 2D snímky povrchu povlaku 492283
9. 2D snímky povrchu povlaku 492283
10. 3D snímky povrchu povlaku 492283
11. 2D snímky povrchu povlaku 489923
12. 3D snímky povrchu povlaku 489923
13. 2D snímky povrchu základního povlaku
14. 2D snímky povrchu šroubů po protlačování

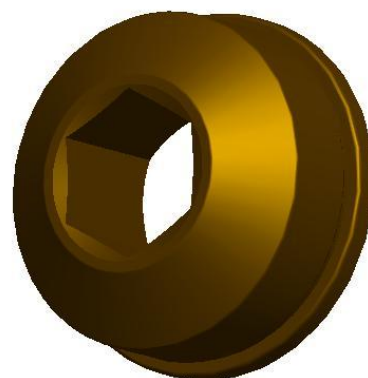
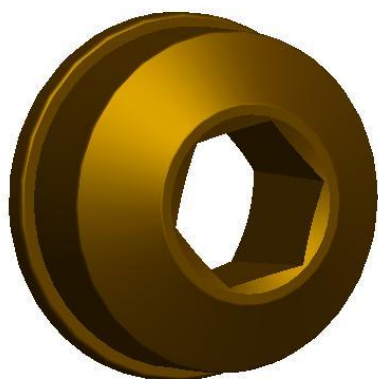


Příloha č. 1





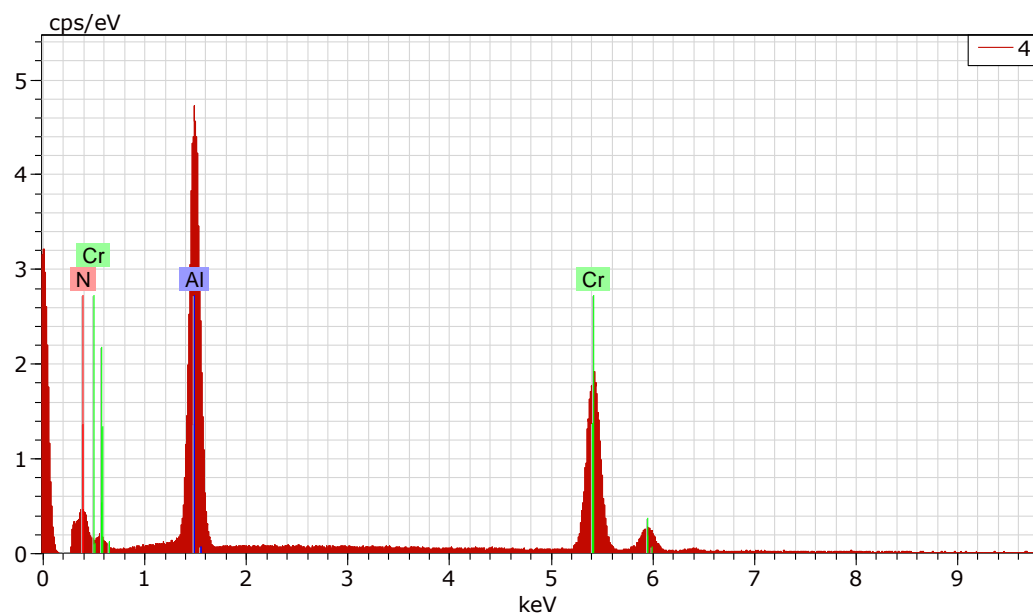
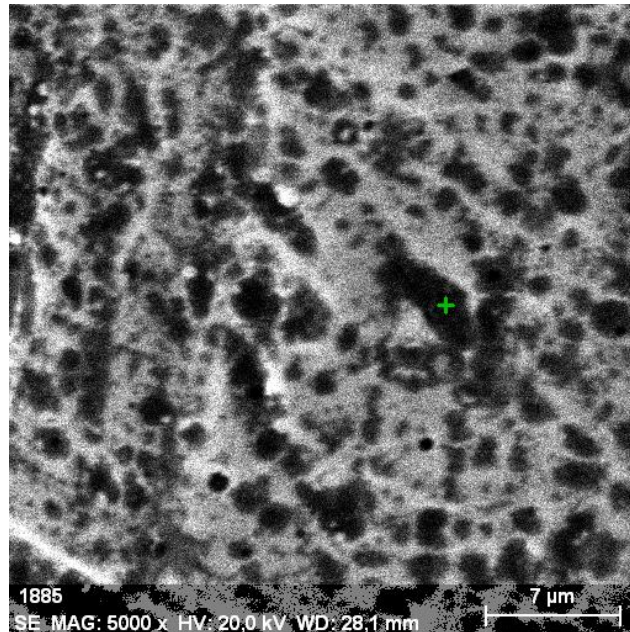
Příloha č. 2





Příloha č. 3

Základ

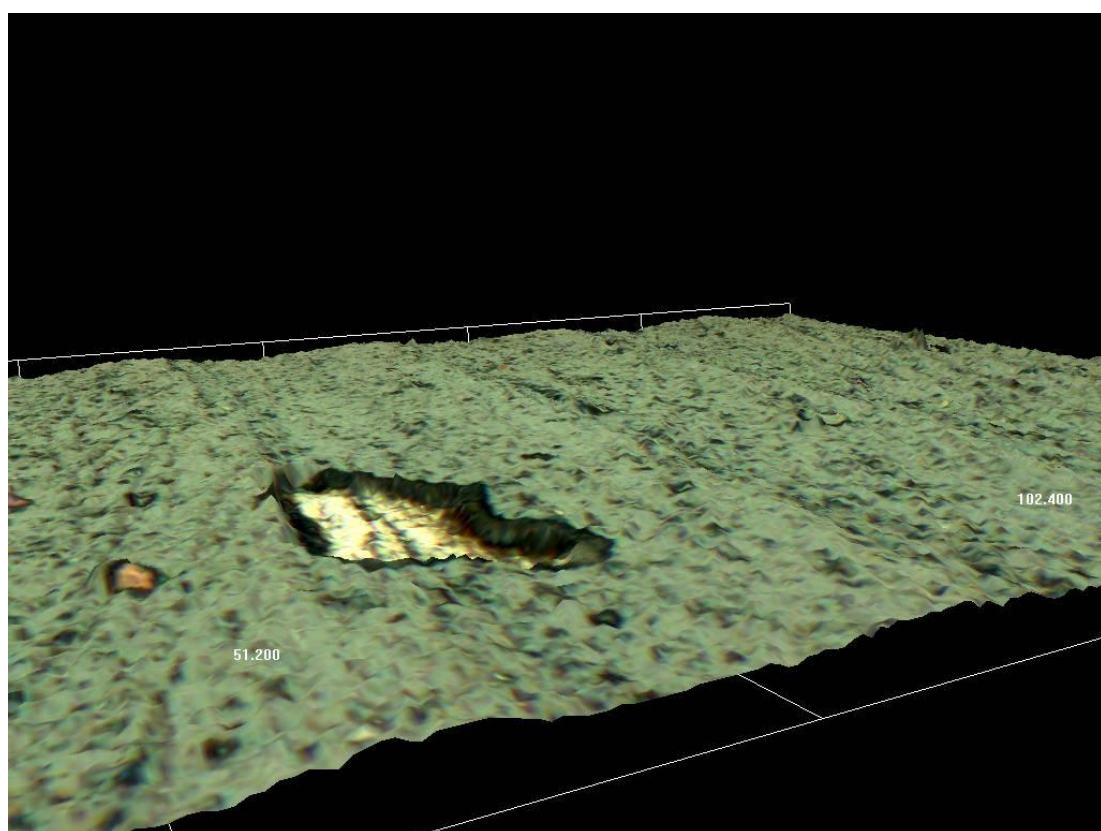
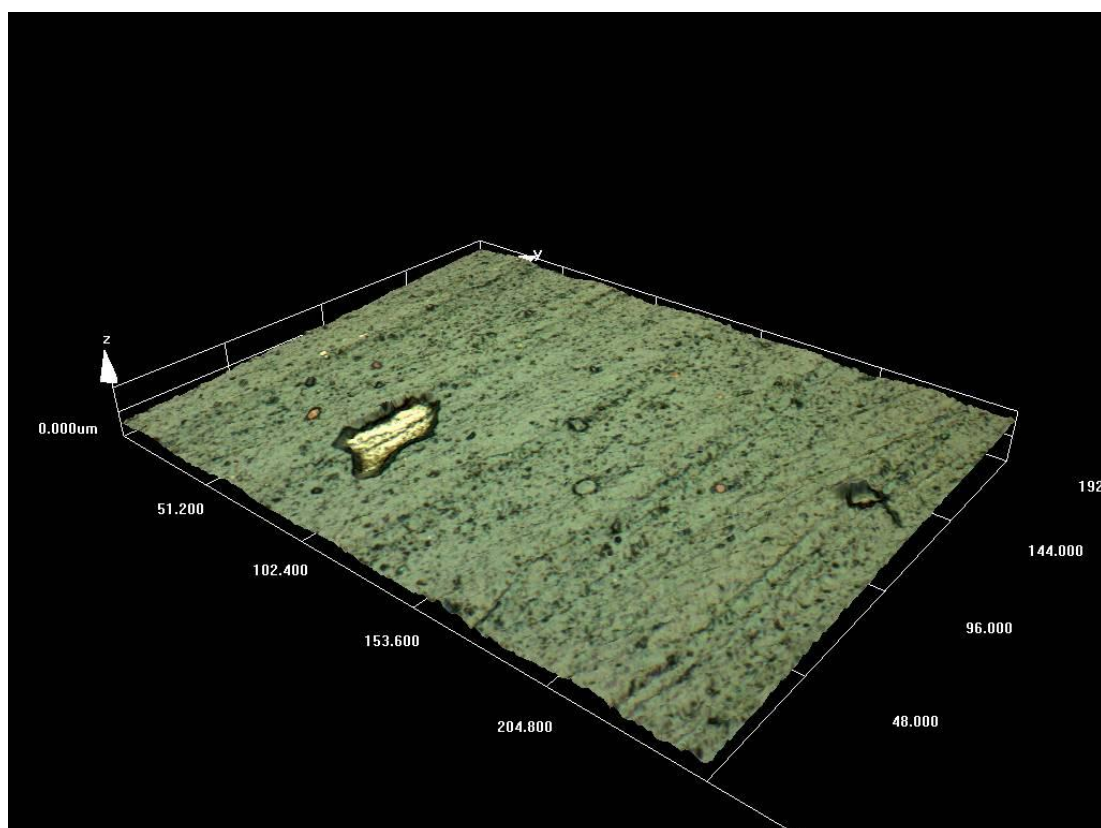


Atomic percent (%)

Spectrum	C	N	Al	Ti	Cr
4	-	53,14	29,40	-	17,46
3	-	60,79	23,97	-	15,24
2	4,37	53,75	-	41,89	-
1	-	69,34	12,57	18,08	-
Mean value:	1,09	59,26	16,49	14,99	8,17
Sigma:	2,18	7,57	13,04	19,85	9,48
Sigma mean:	1,09	3,78	6,52	9,93	4,74



Příloha č. 4



The screenshot displays the LEXT-OLS software interface, which is used for 3D surface profilometry. The main window shows a grayscale image of a rock sample with a green profile line and a red line indicating the measurement path. The left sidebar contains settings for Step Measurement, Profile width, Profile position, and Averaging. The bottom window shows a 'Profile Display' graph with a red line representing the profile and a green line indicating the measurement path. The graph axes are labeled with coordinates and values.

Step Measurement Settings:

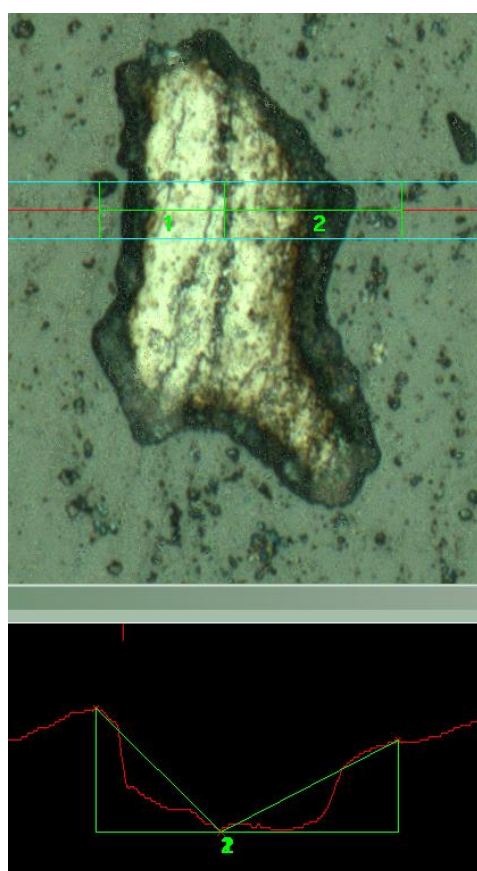
- Step Measurement: [Dropdown]
- Direction: ☒ Horizontal ☐ Vertical ☐ Oblique ☐ Perp.
- Averaging mode: ☒ Line ☐ Plan
- Profile width: 51 [Slider]
- Profile position: [Buttons 1, 2, 3, 4, 5] [Clear]
- Measurement point: ☒ Cursor ☐ Profile
- Averaging: Side-1: 1 [Slider] Side-2: 1 [Slider]
- Show results: ☒ Width ☒ Height ☐ Length ☐ Angle ☐ Upper ☐ Lower

Profile Display Graph:

The graph shows a red line representing the profile and a green line indicating the measurement path. The x-axis is labeled with coordinates (0.000 to 128.000) and the y-axis is labeled with values (0.000 to 9.900). A green box highlights a specific region on the profile, and a green line connects the points on the profile within this region.

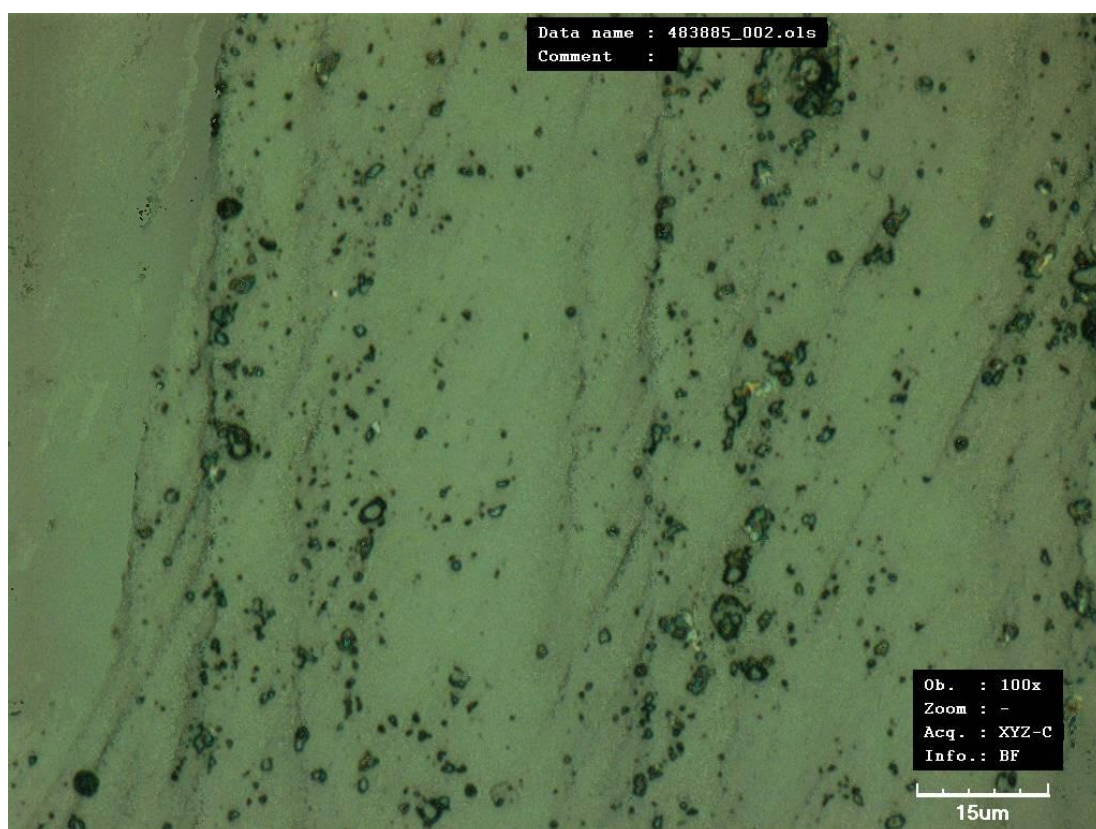
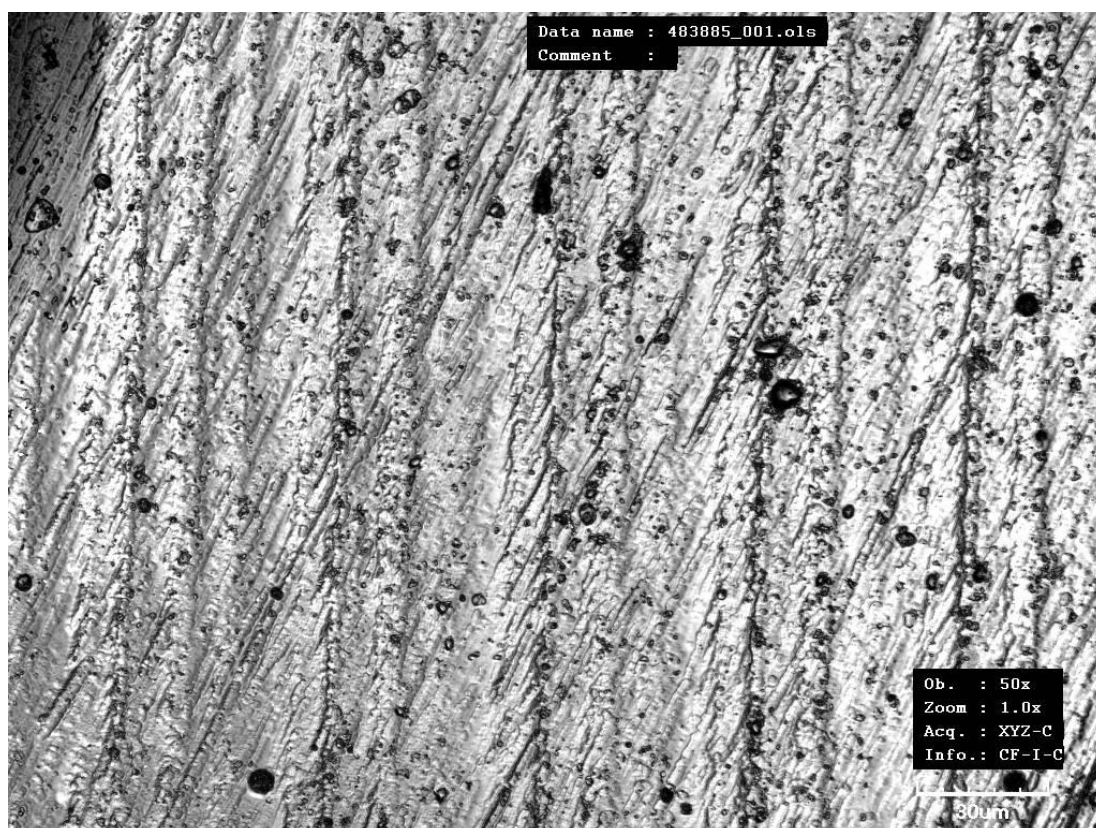
Image List:

- zskladni_000.ols
- zskladni_001.ols
- zskladni_002.ols
- zskladni_003.ols
- zskladni_004.ols
- zskladni_005.ols



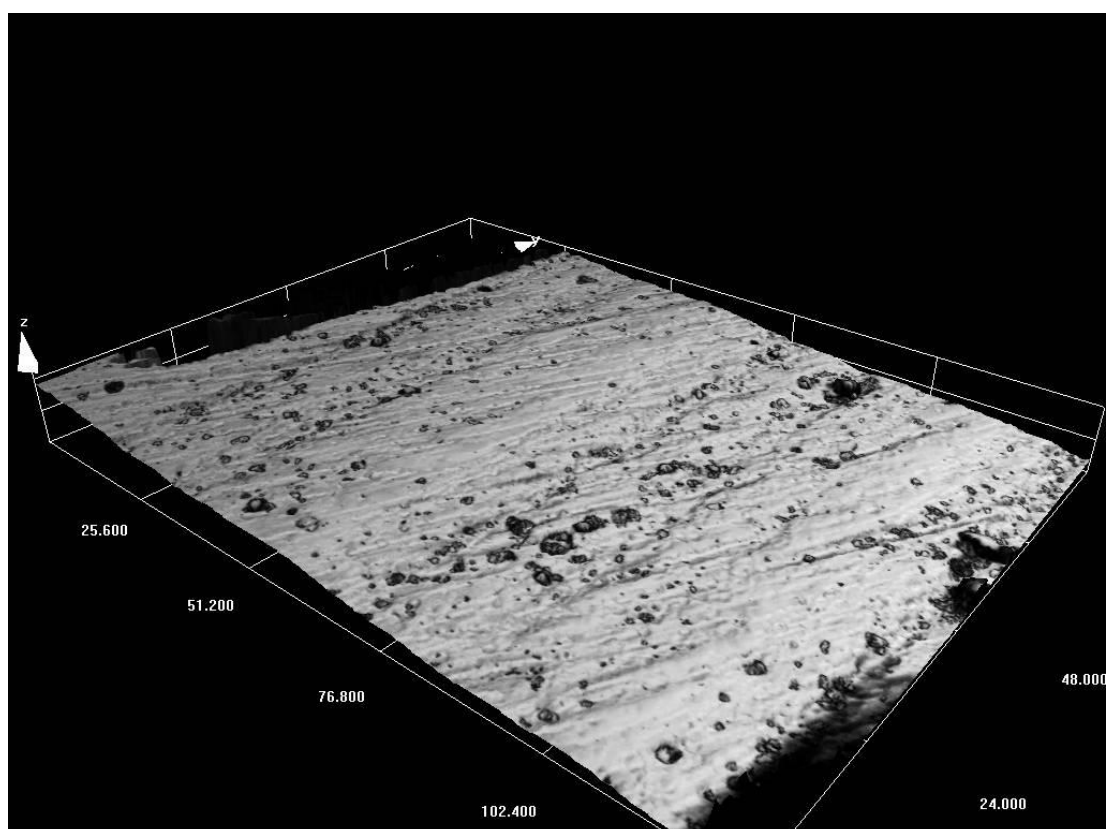
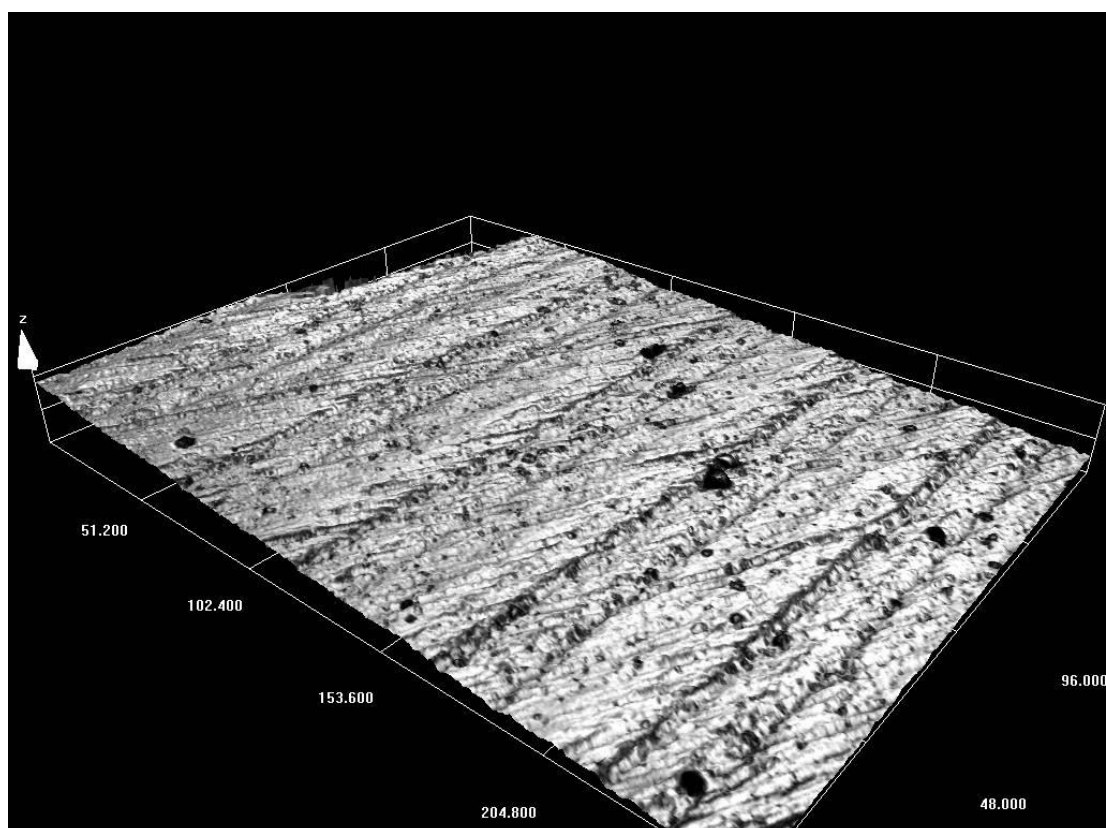
Step Measurement						X
#	Judge	Width[um]	Height[um]			
1		14.268	4.200			
2		20.234	3.100			
#		2	2			
Average		17.251	3.650			
Max.		20.234	4.200			
Min.		14.268	3.100			
Range		5.967	1.100			
Sigma		4.219	0.778			
3 rd Sigma		12.657	2.333			
Result	Off	Off				
Upper limit						
Standard						
Lower limit						

Příloha č. 6

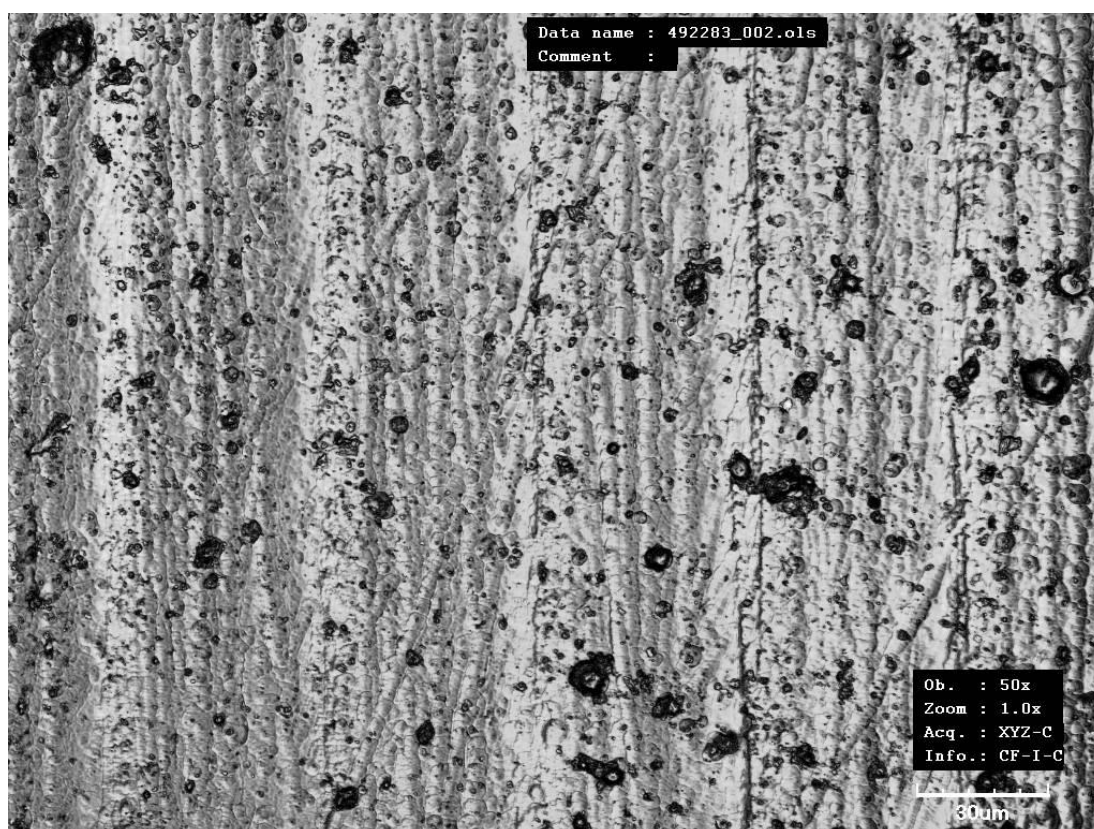
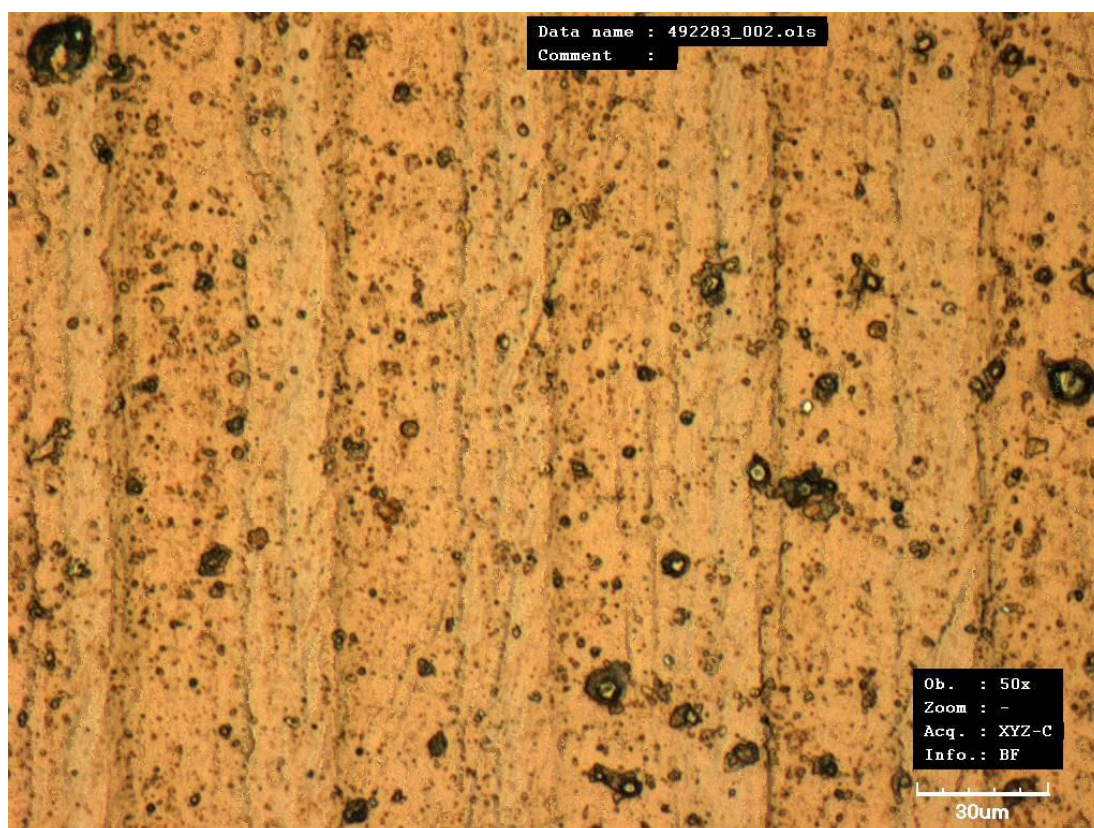




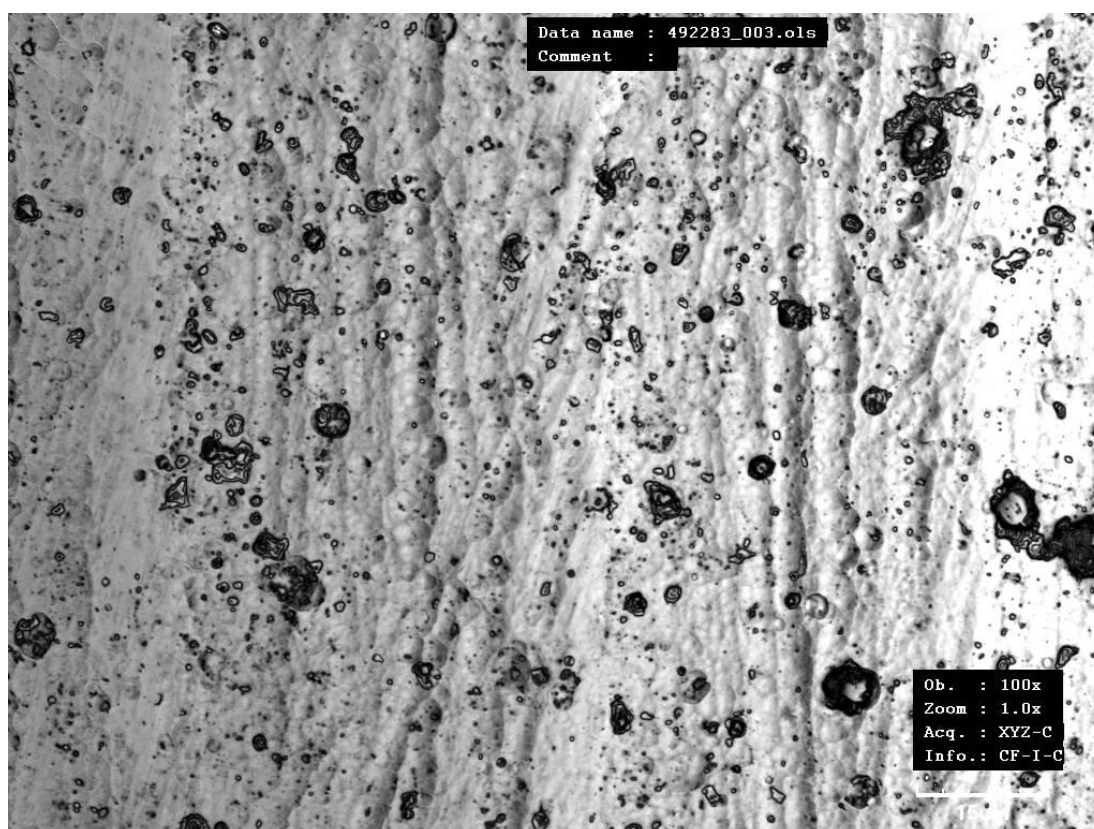
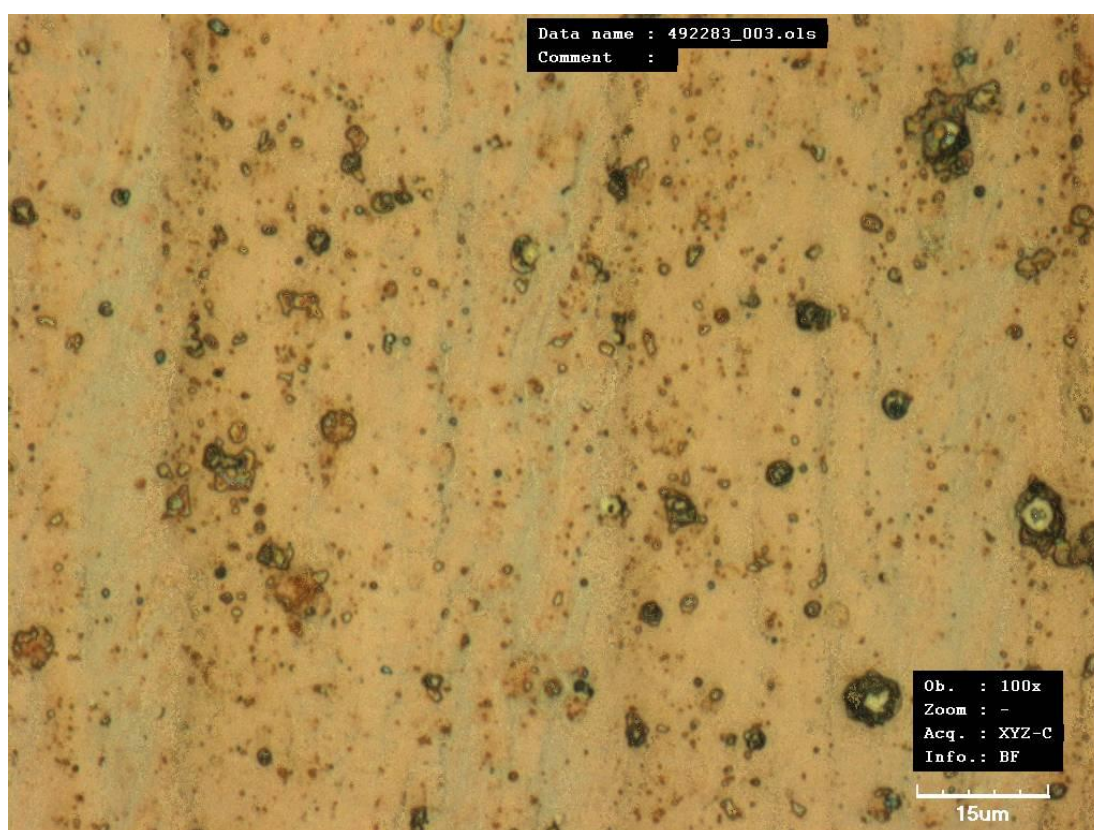
Příloha č. 7



Příloha č. 8

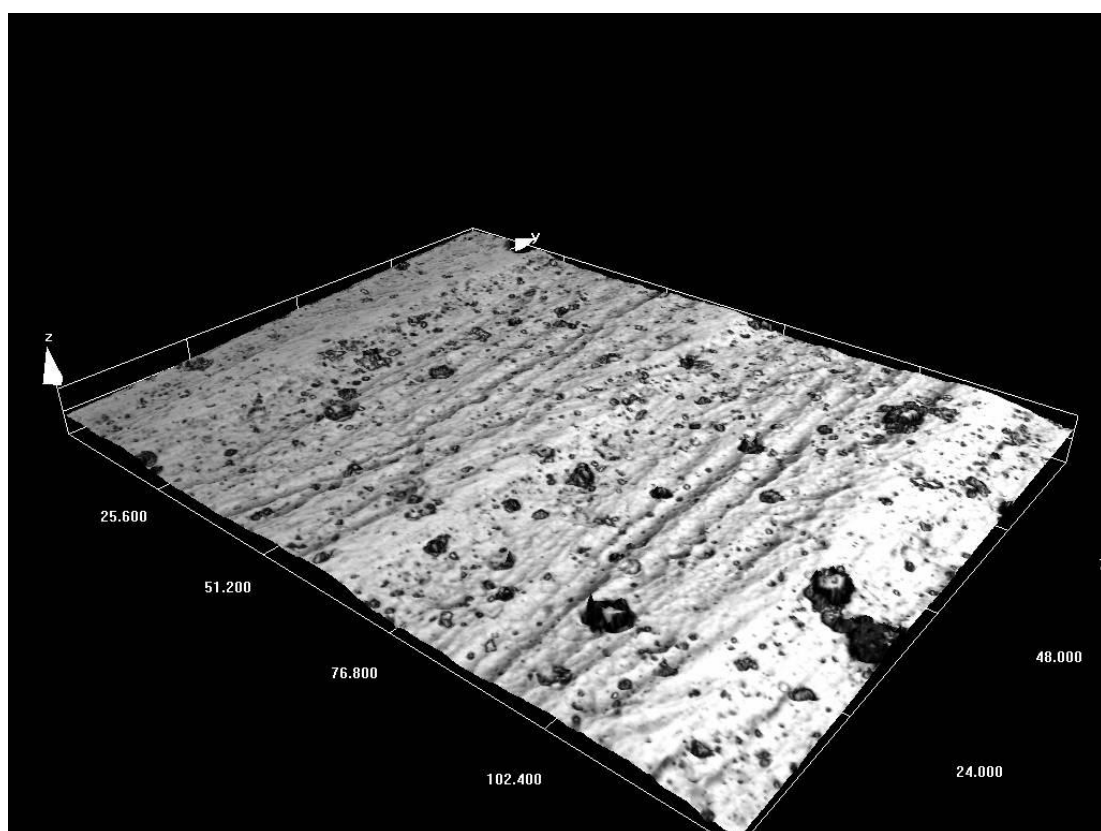
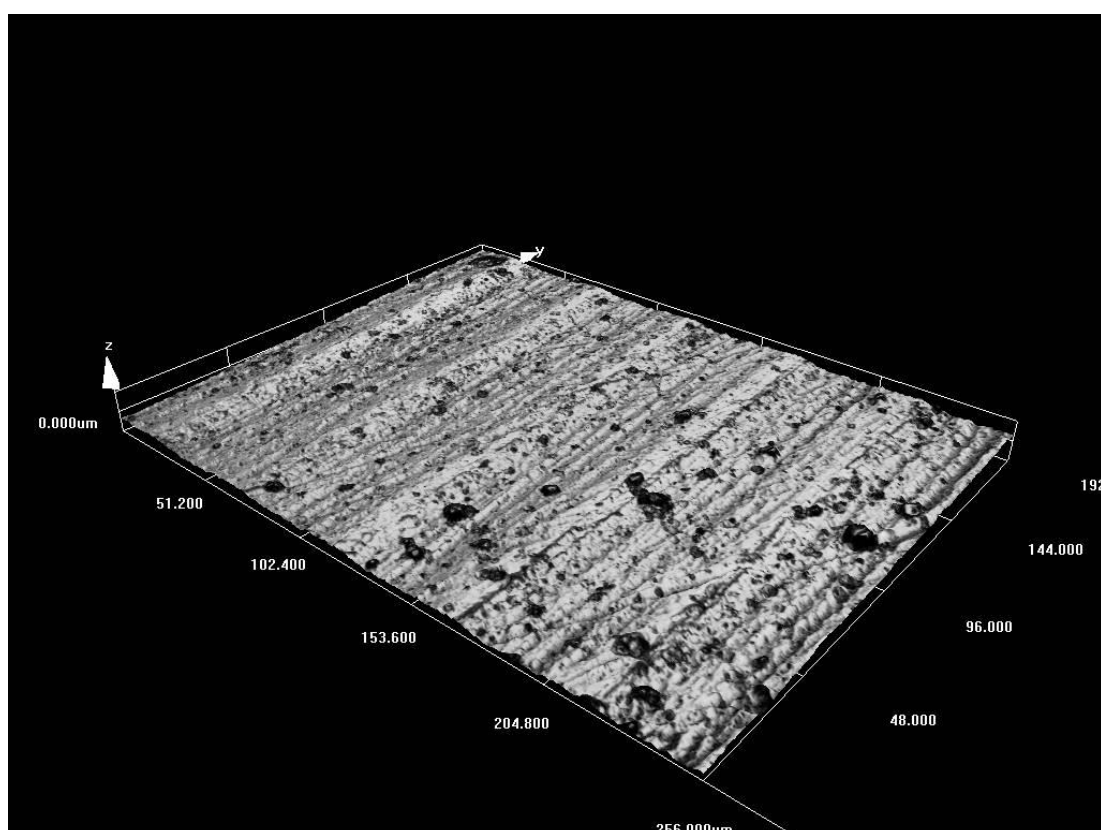


Příloha č. 9

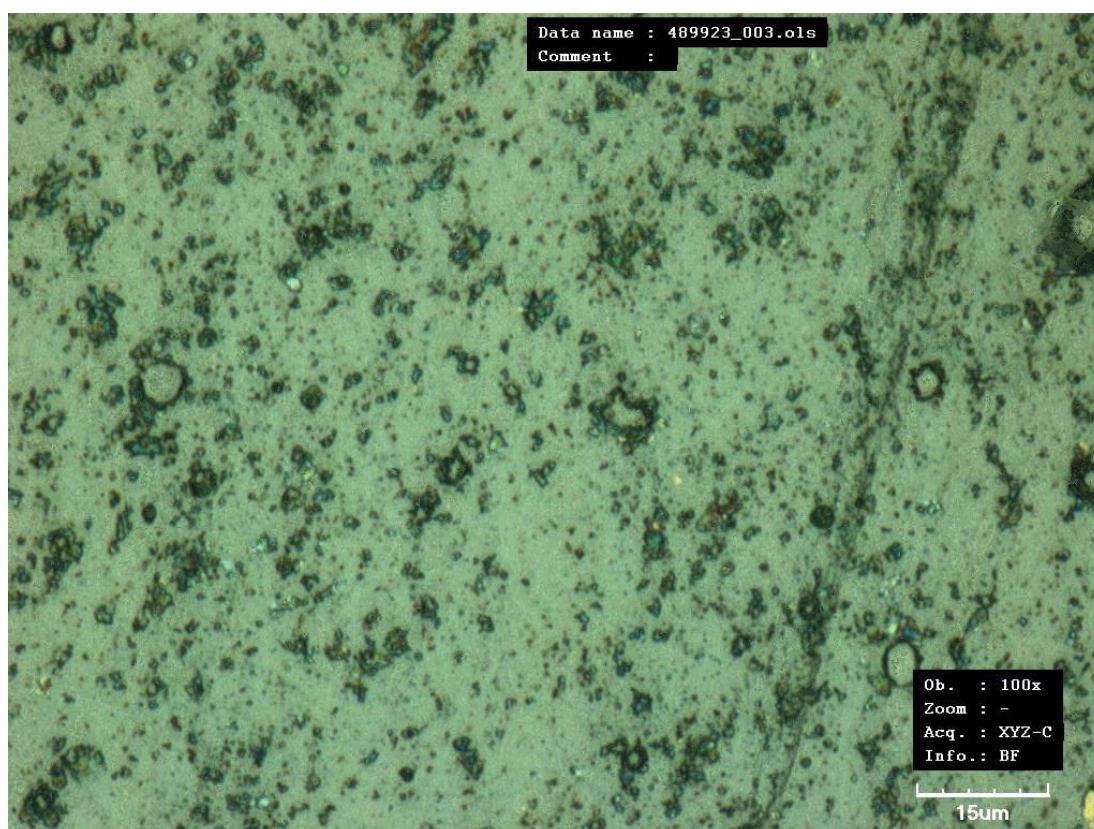
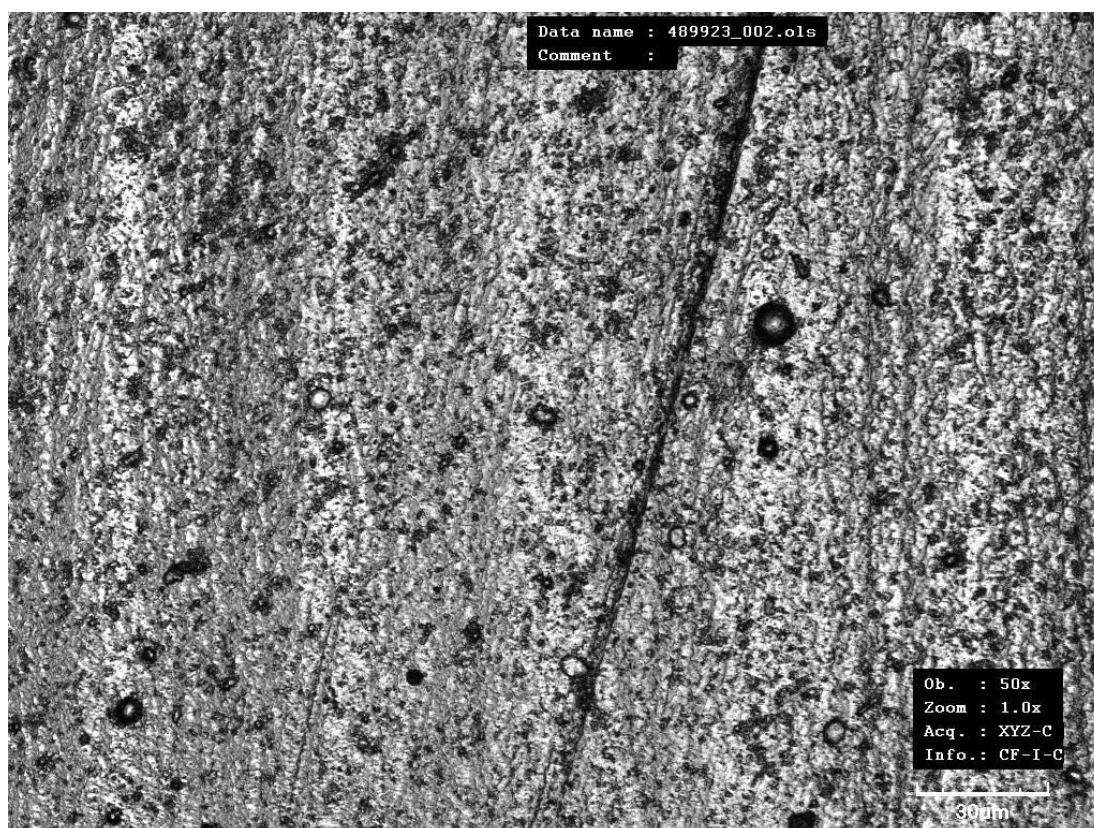




Příloha č. 10

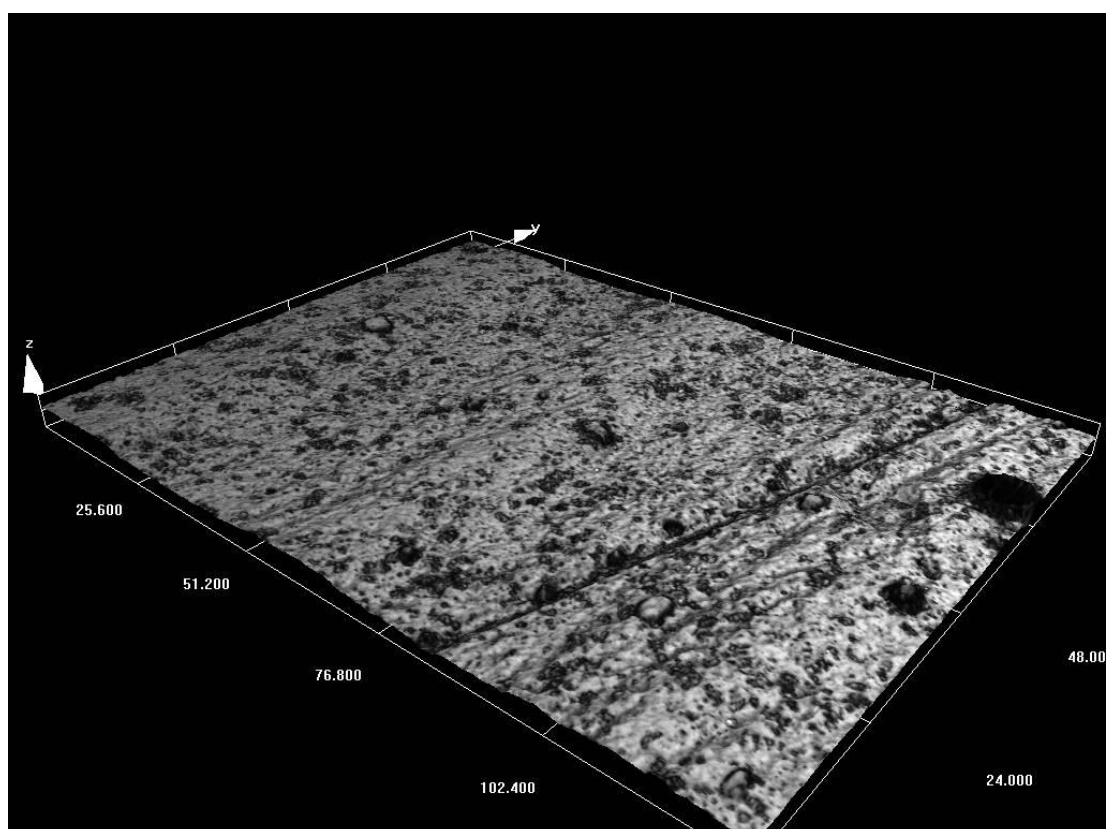
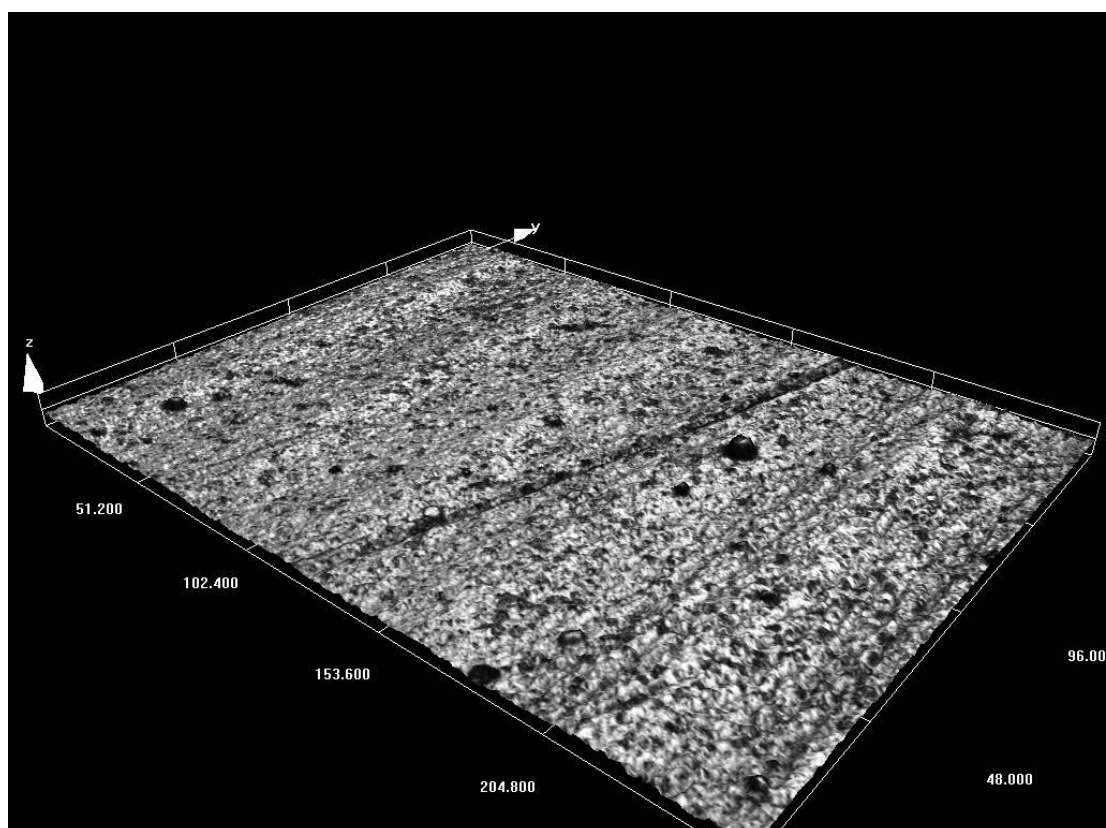


Příloha č. 11

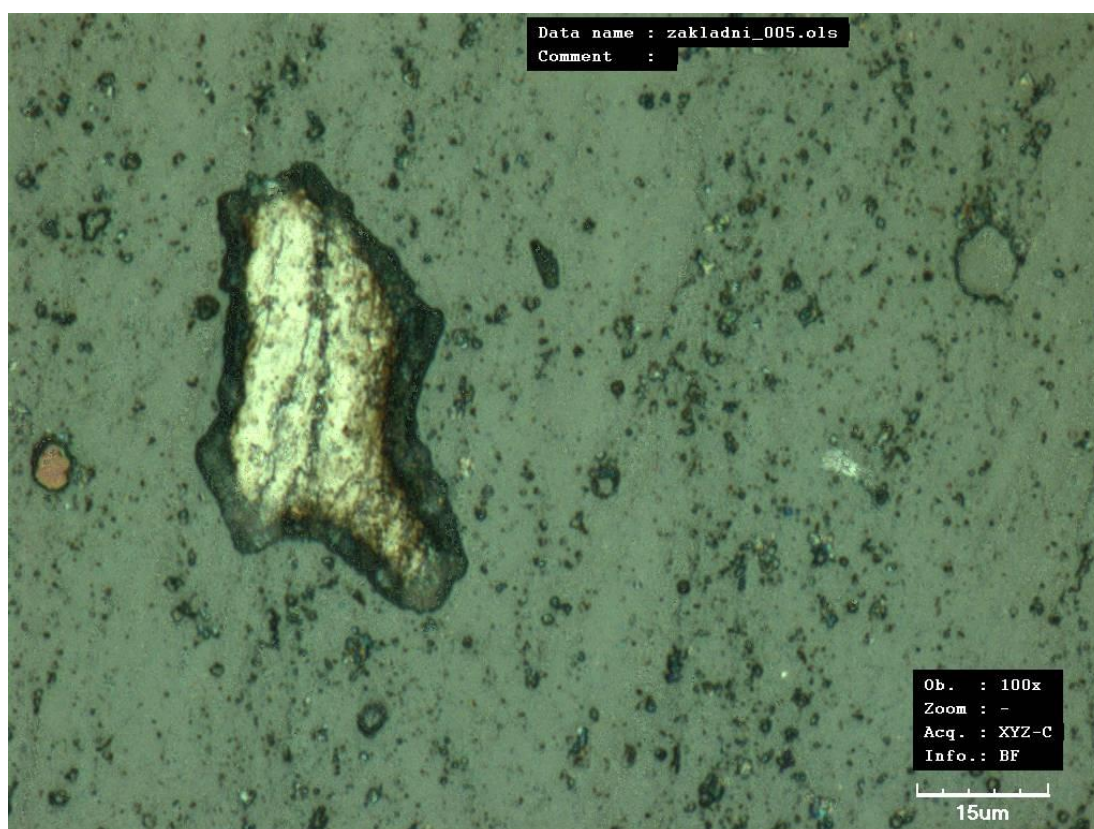
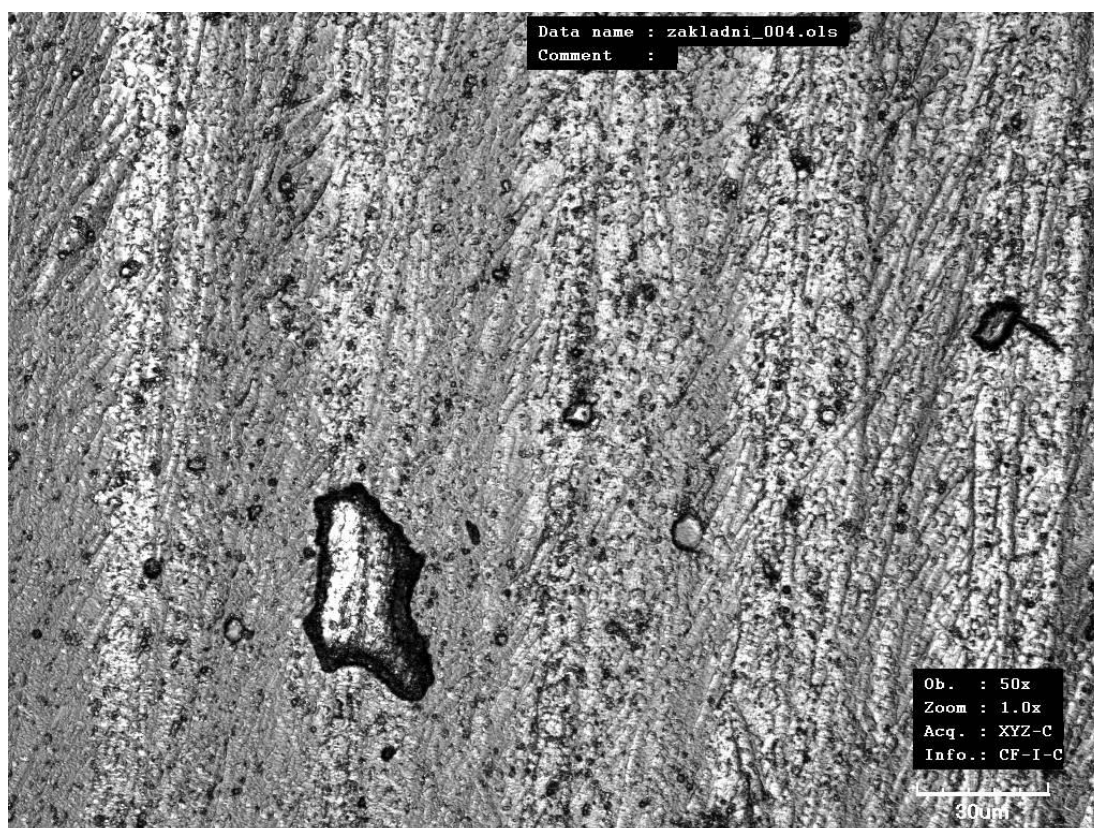




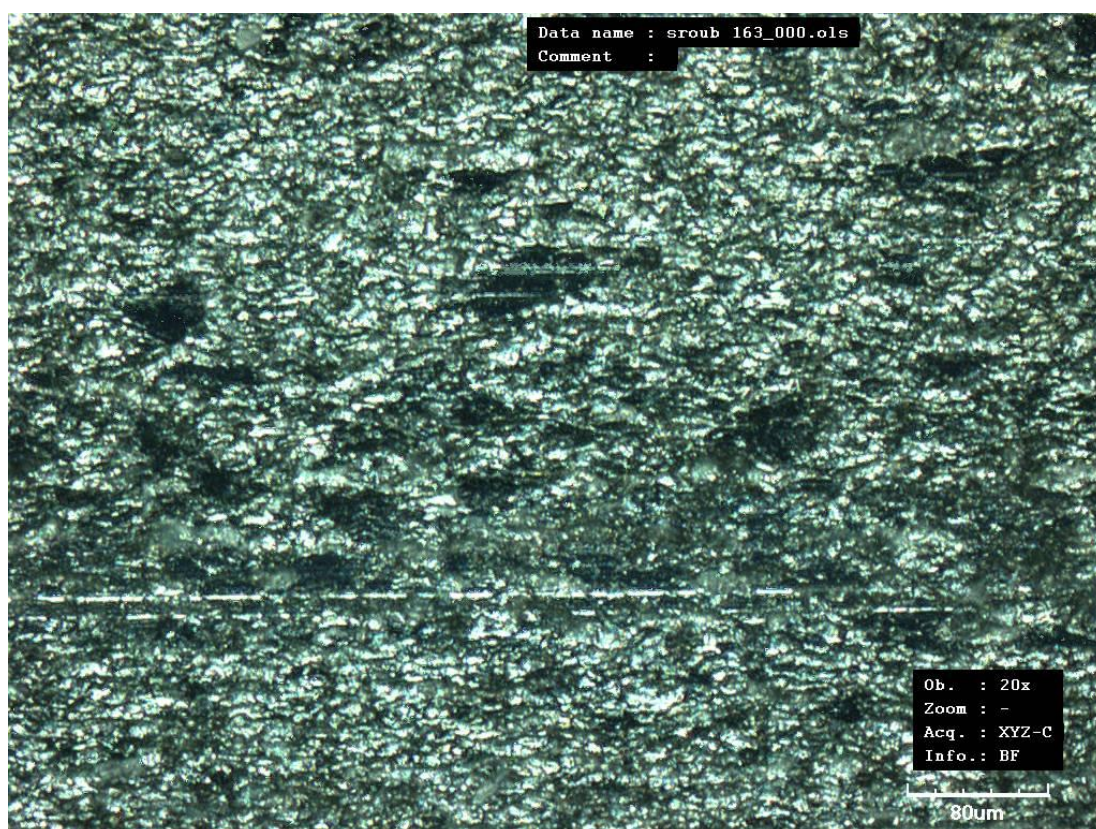
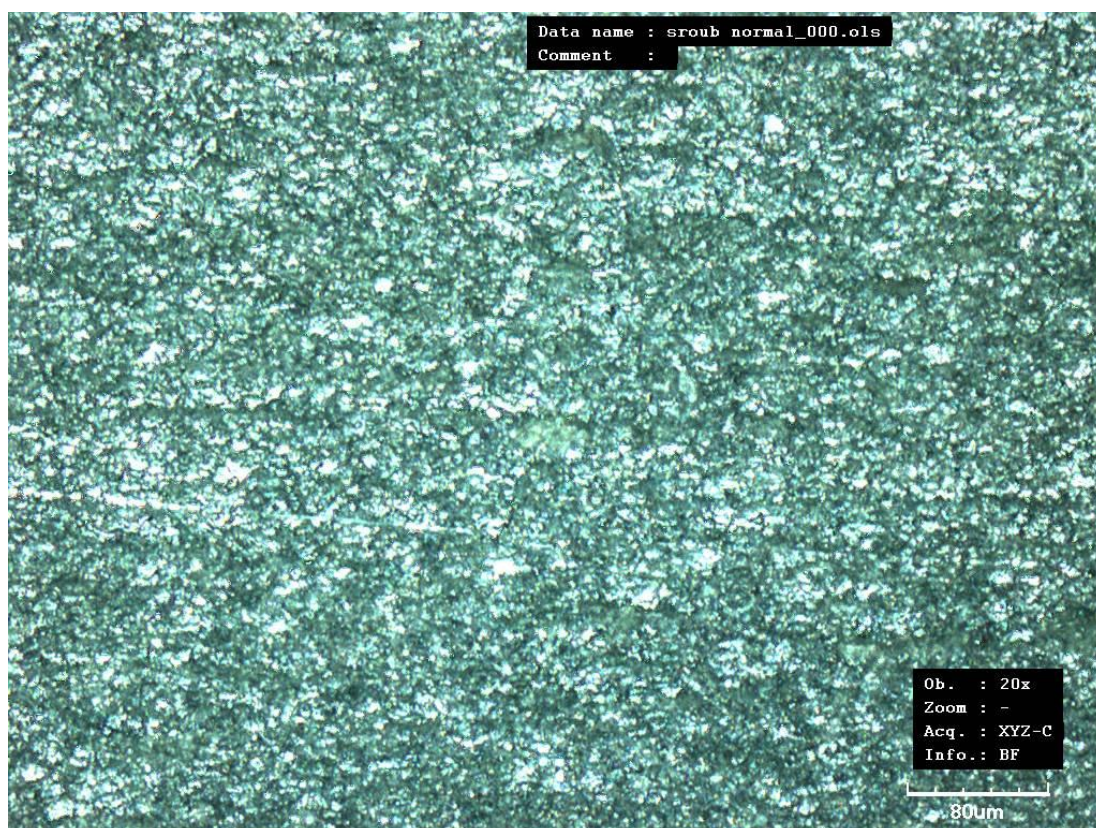
Příloha č. 12



Příloha č. 13



Příloha č. 14



Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 sb. O právu autorském, zejména §60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do její skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum: 21. 5. 2012

.....

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a license for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact, in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 21. 5. 2012

.....